



Cássia Carolina Ricardo Fernandes

Licenciada em Ciências de Engenharia do Ambiente

Contribuição para a otimização da operação de lavagem em biofiltros: Tecnologia BIOSTYR®

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente
Perfil Engenharia Sanitária

Orientador: Professor Doutor António Pedro Mano, FCT – UNL
Co-orientador: Engenheiro Pedro Álvaro, EPAL, S.A

Presidente: Prof. Doutora Leonor Miranda Monteiro do Amaral
Arguente: Prof. Doutora Rita Maurício Rodrigues Rosa
Vogal: Prof. Doutor António Pedro de Macedo Coimbra Mano



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Novembro 2016

**Contribuição para a otimização da operação de lavagem em biofiltros: Tecnologia
BIOSTYR®**

Copyright © Cássia Carolina Ricardo Fernandes, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

A realização desta dissertação de mestrado só foi possível com o apoio e incentivo de diversas pessoas. A todas elas os meus agradecimentos, mas especialmente:

Ao meu chefe e amigo Eng.º Pedro Álvaro, responsável pelo Subsistema de Alcântara, por todos os conhecimentos que me transmitiu, por toda a sua paciência e motivação e, por manter sempre o seu sentido de humor quando, por vezes, eu própria achava que tinha perdido o meu.

Ao Prof. Doutor António Pedro Mano pela sua orientação, disponibilidade, paciência e carinho demonstrados ao longo de todos estes meses. Nunca pensei acabar o meu perfil académico e sentir tanto carinho, como eu sinto, por algum docente, especialmente pelo professor que se bem me lembro, começámos por linhas bem tortas mas acabou por valer a pena. Sempre que precisei o professor esteve lá. Foi sem dúvida o meu motor de busca de calma e tranquilidade. É verdade, com calma tudo se faz! Obrigada.

Aos meus colegas e amigos, Eng.º Nuno Pimentel e Eng.ª Fátima Paixão. Vocês sabem melhor que ninguém que este trabalho não estaria concluído se não fossem vocês. Não é um parágrafo que irá demonstrar o agradecimento que sinto, até porque seria impossível. De Dezembro a Julho, todos os dias incansáveis. Desde o apoio numa “simples” folha de EXCEL a guardar A fatia de bolo. Desde o quase começar a chorar, a começar a rir-me no segundo a seguir. Que montanha russa de emoções e vocês sempre em todas. Este trabalho não é meu, é nosso.

Aos operadores da ETAR de Alcântara, um especial agradecimento ao Rui Madeira, Francisco Brito, Abílio Leitão e Jerónimo Frade. Nem sempre foi fácil para mim e vocês acompanharam de pertinho todas essas dificuldades. Por todas as vezes que andei atrás de vocês para me repetirem o que já me tinham explicado mil e uma vezes. Obrigada!

Aos meus pais e à minha irmã, por nada em específico e por tudo ao mesmo tempo. Mãe, também não seria um parágrafo ou dois que iria descrever o que sinto. Um livro do tamanho da bíblia não seria suficiente...Fazes jus à expressão “Força da Natureza”. E se eu não me vou abaixo mais vezes é por me lembrar disso todos os dias!

Aos meus amigos por “voluntariamente” terem ouvido e aprendido tanto sobre biofiltros. Tenho a certeza que vos será muito útil ao longo de toda a vossa vida. Obrigada, vocês são lindos!

Obrigada!
Carolina Fernandes

Resumo

A biofiltração é uma tecnologia que combina o processo físico de filtração com a remoção biológica de matéria orgânica dissolvida. Apesar de já ser uma tecnologia com inúmeras referências no tratamento de águas residuais, os processos biológicos que ocorrem no interior de um biofiltro continuam a ser objeto de investigação.

Com o objetivo de contribuir para o aprofundamento do conhecimento das condições ótimas de processo, foram realizadas várias campanhas na tentativa de otimizar o tratamento biológico utilizado na ETAR de Alcântara: Tecnologia BIOSTYR® da Veolia Water Solutions.

Foram analisados os vários parâmetros operacionais: tempos de lavagem, cargas hidráulicas, número de ciclos de lavagem, bem como a repercussão da operação de lavagem na eficácia do tratamento.

Foram considerados os seguintes cenários para alterações processuais: (i) alteração da velocidade de lavagem de 60 m/h para 50 m/h; (ii) alteração do tempo de lavagem apenas com água de 150 para 130 segundos; (iii) alteração do tempo de lavagem apenas com água de 130 para 140 segundos; (vi) alteração do tempo de lavagem apenas com água de 140 para 135 segundos; (v) alteração do tempo da fase de enxaguamento de 300 para 270 segundos.

Foram avaliados os efeitos das alterações processuais ao longo do tempo e o seu impacto na qualidade do efluente final.

Os resultados obtidos permitiram concluir que a ETAR de Alcântara apresenta uma capacidade de remoção orgânica para o CBO₅, CQO, e SST, superior aos valores teóricos definidos em projeto, tanto em tempo seco como em tempo húmido. Foram identificados os biofiltros que aparentam ter um desempenho inferior comparativamente com os restantes bem como quais os cenários que apresentam uma maior margem para otimização.

Palavras - Chave: Biofiltração, Biostyr®, Otimização, Água residual, Caudal de água de lavagem.

Abstract

Biofiltration is a technology that combines the physical process of filtration with the biological removal of dissolved organic matter. Although being a technology highly referenced in wastewater treatment, the biological processes that occur inside a biofilter are still object of investigation. In order to deepen the knowledge of the optimal process conditions, several campaigns were carried out as an attempt to optimize the biological treatment used in the Alcântara WWTP: Veolia Water Solutions, BIOSTYR Technology. Various operational parameters were analyzed: washing times, hydraulic loads, number of washing cycles, as well as the repercussions on the quality of the final effluent due to changes in biofilter washing. The following scenarios were considered for procedural alterations: (i) change the process velocity from 60 m/h to 50 m/h; (ii) change the washing time only with water from 150 to 130 seconds; (iii) change the washing time only with water from 130 to 140 seconds; (iv) change the washing time only with water from 140 to 135 seconds; (v) change the rinse phase time from 300 to 270 seconds. The effects of procedural changes over time and their impact on final effluent quality were evaluated. The obtained results allowed concluding that Alcântara WWTP presents an organic removal capacity for CBO₅, COD, and SST, superior from the project values, for dry and wet weather. It was identified the biofilters that appear to have inferior performance comparatively to the rest as well as which scenarios that present a greater margin for optimization.

Key-words: Biofiltration, BIOSTYR®, Optimization, Residual Water, Washing-Water Flow.

Índice

1. Introdução	1
1.1. Enquadramento e relevância do tema	1
1.2. Objetivos	1
1.3. Estrutura da dissertação	2
2. Revisão Bibliográfica	3
2.1. Tratamento de Águas Residuais	3
2.2. Biofiltração	5
2.2.1. Evolução da biofiltração	6
2.2.2. Princípio de Funcionamento	8
2.2.3. Aspetos Técnicos	8
3. Caso de estudo	23
3.1. Introdução	23
3.2. ETAR de Alcântara	23
3.3 Biofiltração	30
3.3.1. Descrição do sistema	30
3.3.2. Características dos biofiltros BIOSTYR®	34
3.3.3. Parâmetros operacionais	36
4. Metodologia	39
4.1. Introdução	39
4.2. Primeira Etapa	39
4.3. Segunda Etapa	41
5. Análise e discussão de resultados	45
5.1. Primeira etapa	45
5.1.1. Caracterização da biofiltração: análise das condições de afluência, eficiências de remoção, cargas volúmicas e efluente final	45
5.1.2. Incumprimentos de descarga e a sua relação com a biofiltração	51
5.1.3. Estudo da turvação do MF5	54
5.1.4. Evolução da colmatção e da expansão num período de 6 meses	56
5.2. Segunda etapa	59
5.2.1. Medição da turvação nos 15 biofiltros a horas específicas do dia: 12h00 e 16H00	59
5.2.2. Acompanhamento das lavagens	61
5.2.3. Escolha de dois biofiltros padrão para acompanhamento	65
5.2.4. Planeamento de alterações	66
5.2.5. Alterações processuais com acompanhamento das lavagens dos biofiltros 5 e 6 durante o intervalo de tempo de 15 de Abril a 9 de Junho	67
5.2.6. Análise de alterações no processo	68
6. Conclusões	90
7. Trabalhos Futuros	92

8. Referências bibliográficas	94
9. Anexos	9-1
Anexo A – Caudal médio mensal afluyente à estação	9-1
Anexo B – Colmatação antes e após lavagem para os 15 biofiltros: Outubro de 2015 – Março 2016	9-3
Anexo C – Expansão antes e após lavagem para os 15 biofiltros: Outubro de 2015 – Março 2016	9-9
Anexo D – Medição da Turvação	9-15
Anexo D.1. Matriz de acompanhamento da medição de turvação aos 15 biofiltros.....	9-16
Anexo D.2. Turvações - Período da manhã versus Período tarde	9-17
Anexo E – Lavagem de Biofiltros.....	9-18
Anexo E.1. Lavagens dos 15 biofiltros.....	9-19
Anexo E.2. Lavagens do biofiltro 5	9-25
Anexo E.3. Lavagens do biofiltro 6	9-34
Anexo F – Periodos de mudança	9-43
Anexo F.1 – Matriz de acompanhamento relativo ao período de mudanças: Caudal afluyente à biofiltração, Turvação do MF5, Turvação do MF 1-4; Turvação de saída	9-44
Anexo F.2 – Matriz de acompanhamento relativo ao período de mudanças, colmatação, expansão, hora de entrada em fora de serviço, hora de lavagem	9-45
Anexo G – Variações referentes aos períodos de alteração.....	9-46
Anexo G.1 – Variação da colmatação antes e após lavagem referente ao período de alterações	9-47
Anexo G.2 – Variação da expansão antes e após lavagem referente ao período de alterações	9-53

Índice de Figuras

Figura 2.1. Diagrama das principais operações e processos de tratamento normalmente incluídos numa ETAR	4
Figura 2.2. Diferentes tipos de tratamentos secundário.	7
Figura 2.3. Diferentes fases de um biofiltro.....	7
Figura 2.4. Esquema da formação de um biofilme	10
Figura 2.5. a) Formação do biofilme ; b) aderência do biofilme ao meio filtrante	10
Figura 2.6. Mecanismos de alimentação: a) Fluxo descendente e b) Fluxo ascendente	12
Figura 2.7. Biofiltro como tratamento secundário para remoção de matéria orgânica	15
Figura 2.8. Biofiltro como tratamento secundário para remoção de carbono e nitrificação.....	15
Figura 2.9. Biofiltro como tratamento secundário para nitrificação/desnitrificação e tratamento terciário	16
Figura 3.1. Fotografia panorâmica do subsistema de Alcântara.....	23
Figura 3.2. ETAR de Alcântara: Esquema representativo do Tratamento Preliminar com remoção de areias, óleos e gorduras	26
Figura 3.3. ETAR de Alcântara: Esquema representativo do Tratamento Primário, Tratamento Biológico e da Desinfecção	27
Figura 3.4. ETAR de Alcântara: Esquema representativo do Tratamento de Lamas, Armazenamento e Expedição	28
Figura 3.5. ETAR de Alcântara: Esquema representativo da Desodorização	29
Figura 3.6. Diagrama esquemático de um BIOSTYR® – ETAR Alcântara.....	31
Figura 3.7. Saída da água de lavagem do biofiltro para o tanque de água de lavagem.....	31
Figura 3.8. Tanque água de lavagem	33
Figura 3.9. Entrada da água de lavagem do biofiltro no espessador	34
Figura 4.1. Sequência de tarefas associadas à primeira etapa.....	40
Figura 4.2. Esquema da percentagem de energia gasta na estação	41
Figura 4.3. Medição da turvação nos biofiltros.....	42
Figura 4.4. Sequência de tarefas associadas à segunda etapa	44
Figura 5.1. Caudal afluente à biofiltração no ano de 2015	
Figura 5.2. Eficiência de Remoção de CBO_5	50
Figura 5.3. Eficiência de Remoção de CQO	50
Figura 5.4. Eficiência de Remoção de SST	51
Figura 5.5. Número de biofiltros em funcionamento – ano 2015	53
Figura 5.6. Valores de turvação à saída do MF5, nos dias em que o objetivo de qualidade não foi cumprido (a, b, c, d, e).....	55
Figura 5.7. Variação da colmatação antes e após lavagem de um biofiltro com comportamento expectável.....	56
Figura 5.8. Variação da Colmatação antes e após lavagem de um biofiltro com comportamento atípico	57

Figura 5.9. Variação da expansão antes e após lavagem de um biofiltro com comportamento expectável.....	58
Figura 5.10. Variação de expansão antes e após lavagem de um biofiltro com comportamento atípico	59
Figura 5.11. Variação da turvação de saída em linha.....	60
Figura 5.12. Variação da turvação de saída para o período da manhã interceptada com a turvação em cada biofiltro	60
Figura 5.13. Variação da turvação de saída para o período da tarde interceptada com a turvação em cada biofiltro	61
Figura 5.14. Representação de uma lavagem padrão – biofiltro 7	63
Figura 5.15. Representação de uma lavagem padrão – biofiltro 10	63
Figura 5.16. Representação de uma lavagem com valores atípicos de turvação – biofiltro 12	64
Figura 5.17. Representação de uma lavagem com valores atípicos de turvação – biofiltro 15	64
Figura 5.18. Representação da variação da turvação durante uma lavagem – biofiltro 5	65
Figura 5.19. Representação da variação da turvação durante uma lavagem – biofiltro 6	66
Figura 5.20. De a) a e) - Lavagens do biofiltro 5, com uma velocidade de 55 m/h, no período de 15 de abril a 19 de abril	69
Figura 5.21. Evolução da colmatção e expansão ao longo do tempo para o biofiltro 5	69
Figura 5.22. De a) a e) - Lavagens do biofiltro 6 com uma velocidade de 55 m/h, entre 15 de abril a 20 de abril, respetivamente.	70
Figura 5.23. Evolução da colmatção e expansão ao longo do tempo para o biofiltro 6	70
Figura 5.24. a) e b) Lavagem biofiltro 5 e 6 com tempo de lavagem com água de 130 segundos, no dia 20 de abril.....	71
Figura 5.25. a) e b) Lavagens do biofiltro 5: 28 e 29 de Abril	72
Figura 5.26. a) e b) Lavagens do biofiltro 6: 28 e 29 de abril.....	73
Figura 5.27. a), b), c) e d) Lavagens do biofiltro 5: 30 de Abril a 3 de Maio	74
Figura 5.28. Evolução da colmatção e expansão de 30 de abril a 4 de Maio para o biofiltro 5	74
Figura 5.29. a), b), c) e d) Lavagens do biofiltro 6: 30 de abril a 4 de maio	75
Figura 5.30. Evolução da colmatção e expansão de 30 de abril a 4 de maio para o biofiltro 6	75
Figura 5.31. a) a h) - Lavagens do biofiltro 5: 30 de Maio a 6 de Junho	77
Figura 5.32. Evolução da colmatção e expansão de 30 de Maio a 6 de Junho para o biofiltro 5	77
Figura 5.33. a) a h) Lavagens do biofiltro 6: 30 de Maio a 6 de Junho.....	79
Figura 5.34. Evolução da colmatção e expansão de 30 de Maio a 6 de Junho para o biofiltro 6	79
Figura 5.35. a) a g) - Lavagens do biofiltro 5: 7 de Junho a 9 de Junho	80
Figura 5.36. a), b) e c) - Lavagens do biofiltro 6: 7 de Junho a 9 de Junho	81
Figura 5.37. Variação da colmatção antes (em cima) e após lavagem (em baixo) referente ao período de alterações – biofiltro 5	82
Figura 5.38. Variação da colmatção antes (em cima) e após lavagem (em baixo) referente ao período de alterações – biofiltro 6	82
Figura 5.39. Atraso de lavagens para o período de 1 a 4 de maio	83

Figura 5.40. Atraso de lavagens para o período de 5 a 11 de maio	83
Figura 5.41. Atraso de lavagens para o período de 30 de maio a 6 de junho	84
Figura 5.42. Atraso de lavagens para o período de 7 a 9 de junho	84
Figura 5.43. Turvação à saída do MF5 vs mini-lavagens	85
Figura 5.44. Caudal afluente à biofiltração no período de 1 de Abril a 9 de Junho	85
Figura 5.45. Turvação à saída (médias) MF 1 – 4	86
Figura 5.46. Resultados da turvação do efluente final para o período de 21 de Abril a 10 de Junho..	87
Figura 5.47. Identificação dos biofiltros com desempenho inferior	89

Índice de Tabelas

Tabela 2.1. Diferentes tipos de biofiltros	14
Tabela 2.2. Média dos valores dos parâmetros operacionais segundo a bibliografia*	18
Tabela 2.3. Resumo das necessidades de arejamento segundo bibliografia	19
Tabela 2.4. Resultados obtidos do desempenho de filtros biológicos	20
Tabela 2.5. Vantagens e desvantagens da biofiltração	21
Tabela 3.1. Caudal Afluente à ETAR	24
Tabela 3.2. Capacidade máxima de tratamento para as várias etapas da linha líquida da ETAR.....	24
Tabela 3.3. Objetivo de Qualidade do Efluente final	25
Tabela 3.4. Condições de funcionamento base admissíveis à biofiltração	35
Tabela 3.5. Cargas volúmicas máximas de remoção segundo o projeto	35
Tabela 3.6. Etapas de lavagem.....	37
Tabela 3.7. Fases da mini-lavagem	38
Tabela 3.8. Velocidades de operação com 15 biofiltros em funcionamento.....	38
Tabela 3.9. Eficiência de remoção teórica	38
Tabela 4.1. Matriz de acompanhamento de lavagens	43
Tabela 5.1. Concentrações e cargas mensais de CBO ₅ afluentes à biofiltração no ano de 2015.....	46
Tabela 5.2. Concentrações e cargas mensais de CQO afluentes à biofiltração no ano de 2015	46
Tabela 5.3. Concentrações e cargas médias de SST afluentes à biofiltração no ano de 2015	47
Tabela 5.4. Cargas volúmicas afluentes à biofiltração no ano de 2015	48
Tabela 5.5. Dias com registo de incumprimentos de descarga relativos ao ano de 2015	52
Tabela 5.6. Resumo da variação das colmatações do sistema de biofiltração	58
Tabela 5.7. Resumo da variação da expansão do sistema de biofiltração.....	59
Tabela 5.8. Resumo da variação da turvação ao longo de um ciclo de lavagem.....	62
Tabela 5.9. Classificação dos biofiltros segundo o seu comportamento	65
Tabela 5.10. Volume de água consumido na lavagem de um biofiltro	66
Tabela 5.11. Alterações efetuadas no tratamento biológico	67
Tabela 5.12. Valores de colmatção antes e depois de lavagem para o dia 20 de abril – biofiltro 5 e 6.....	71
Tabela 5.13. Valores de colmatção e expansão antes e depois de lavagem para os dias 28 e 29 de abril – biofiltro 5	72
Tabela 5.14. Valores de colmatção e expansão antes e depois de lavagem para os dias 28 e 29 de abril – biofiltro 6	73
Tabela 5.15. Valores de colmatção e expansão de 7 de Junho a 9 de Junho para o biofiltro 5	80
Tabela 5.16. Valores de colmatção e expansão de 7 de Junho a 9 de Junho para o biofiltro 6	81
Tabela 5.17. Concentrações do efluente final.....	88
Tabela 7.1 - Proposta de trabalhos futuros para caudal de ar.....	89

Índice de Acrónimos e Simbologia

Empresa/Tecnologias

AdP – Grupo Águas de Portugal

BF - Biofiltro

BIOSTYR® - Tecnologia utilizada no tratamento biológico

DQA – Diretiva do Quadro da Água

EPAL, S.A. – Empresa Portuguesa das Águas Livres

ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais

MULTIFLO™ – Tecnologia utilizada na decantação primária na ETAR de Alcântara

MF 5 – MULTIFLO 5 – Espessador

PT01 – Sensor situado na célula, imediatamente abaixo do meio filtrante

PT02 – Sensor situado na célula, no nível inferior

Física e Química

CBO₅ – Carência Bioquímica de Oxigénio

CQO – Carência Química de Oxigénio

O₂ - Oxigénio

N - Azoto

NH₄⁺ – Amónia

NO₃ - Nitrato

NTU - Nefelometric Turbidity Units

SST – Sólidos Suspensos Totais

1. Introdução

1.1. Enquadramento e relevância do tema

Os crescentes requisitos legais e a necessidade de melhorar os atuais sistemas de tratamento de águas residuais constituem uma realidade da sociedade atual. Atualmente, um dos maiores desafios que se coloca à engenharia sanitária reside na procura de uma relação ótima entre os custos associados às tecnologias de tratamento, investimento e segurança e a garantia da sua eficiência, assegurando o cumprimento de qualidade do efluente final.

O presente estudo tem por objetivo procurar aprofundar o conhecimento relativo a um processo de tratamento que, ao longo dos anos, tem vindo a ganhar o seu espaço pelo facto de permitir a obtenção de elevadas eficiências de remoção: a biofiltração.

A biofiltração é uma tecnologia que combina o processo físico de filtração e, simultaneamente, a remoção biológica de matéria orgânica dissolvida. O fornecimento de oxigénio para a oxidação é efetuado na base do biofiltro e a água circula no sentido ascendente ou descendente diferenciando dois tipos de biofiltros: fluxo ascendente e fluxo descendente. A remoção de matéria orgânica dissolvida é efetuada pelo biofilme que se desenvolve sobre o meio de enchimento, ficando os sólidos em suspensão retidos no meio filtrante. Este processo de tratamento é capaz de remover entre 70 a 95% de CBO₅ e SST (Moffa, 1997).

Apesar de já ser uma tecnologia com inúmeras referências no tratamento de águas residuais, os processos biológicos que ocorrem no interior de um biofiltro continuam a ser objeto de investigação (Chaudhary, 2007).

Ao longo da operação, o filtro vai colmatando sendo necessário recorrer à sua lavagem periódica (Sperling, 2007). Os ciclos de funcionamento podem variar entre as 12 e as 48 horas e a lavagem, efetuada com alternância de ar e água, pode durar até uma hora (Agence de l'eau, 1994). A lavagem deve ser eficiente por forma a procurar otimizar a duração dos ciclos de funcionamento, mas, no entanto, as condições ótimas de operação continuam igualmente a ser objeto de estudo (Pramanik *et al.*, 2012).

Atualmente, a conceção deste tipo de processo de tratamento já se encontra bastante consolidada nomeadamente no que se refere à faixa de eficiências expectável existindo, no entanto, alguma margem de otimização relativamente aos parâmetros operacionais (Espinoza, 1999).

1.2. Objetivos

Esta dissertação tem por objetivo procurar contribuir para a otimização do processo de tratamento biológico (secundário) por biofiltração, nomeadamente através da análise de vários parâmetros operacionais (tempos de lavagem, carga hidráulica e número de ciclos de lavagem) e, também, da repercussão da operação de lavagem no seu funcionamento. A elaboração deste trabalho foi suportada pela avaliação das condições de funcionamento da ETAR de Alcântara (Tecnologia BIOSTYR® - biofiltração de fluxo ascendente, patente OTV – Veolia Group Solutions) ao longo de 7 meses e também, pela análise da informação existente relativa ao ano de 2015.

1.3 Estrutura da dissertação

A presente dissertação é composta por 7 capítulos e 7 anexos.

O Capítulo 1 inclui o enquadramento do tema e os objetivos do trabalho.

O Capítulo 2 é dedicado à revisão bibliográfica. São apresentados os princípios genéricos do funcionamento do tratamento por biofiltração, bem como os parâmetros operacionais que o caracterizam.

No Capítulo 3 é feita a introdução ao caso de estudo bem como a descrição da linha de tratamento da estação de tratamento de águas residuais (ETAR) de Alcântara e a descrição do seu sistema de biofiltração.

No Capítulo 4 apresenta-se a metodologia que suportou a realização do trabalho, incluindo uma explicação pormenorizada das diversas fases necessárias para completar a componente prática da dissertação.

No Capítulo 5 são apresentados e discutidos os resultados obtidos.

No Capítulo 6, apresentam-se as principais conclusões do trabalho desenvolvido e no capítulo 7 apresentam-se sugestões para eventuais trabalhos futuros.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Tratamento de Águas Residuais

Todas as comunidades produzem diariamente resíduos sólidos e líquidos. A água é utilizada para diversos fins, nomeadamente para usos domésticos, comerciais, industriais e municipais. Estes usos modificam, em maior ou menor extensão, as suas características físicas, químicas e biológicas transformando-a em água residual, cujas características podem pôr em causa a saúde pública. É fundamental o seu tratamento por forma a evitar riscos para a saúde pública, incomodidade para as populações e prejuízos para a ecologia dos meios recetores, quer se trate de uma massa de água ou do solo (Sousa, 1990).

A composição da água que transporta os resíduos gerados é muito variada sendo composta essencialmente por matéria orgânica, nutrientes, elementos químicos, microrganismos e partículas inorgânicas insolúveis, incluindo areias, entre outras partículas de maiores dimensões. O tratamento da água residual, de acordo com a sua constituição e características do meio recetor, é determinante para a manutenção de um equilíbrio hídrico (Arvin & Henze, 2001).

A qualidade da água é um aspeto fundamental na legislação e programas ambientais. No que respeita à diretiva das águas residuais urbanas - Diretiva 98/15/CE - estão definidos critérios para a recolha e tratamento de águas residuais municipais, águas residuais industriais e respetivas descargas, com o objetivo de proporcionar uma melhoria nas condições de vida das populações e da qualidade dos meios hídricos, promovendo benefícios socioeconómicos e ambientais na qualidade dos meios recetores. As normas que regulam este setor diferem nos vários Estados-membros da Comunidade Europeia, e baseiam-se nas respetivas Legislações Nacionais que por sua vez são suportadas por Diretivas Comunitárias.

Um sistema de drenagem de águas residuais destina-se a recolher e a transportar os efluentes para uma estação de tratamento de águas residuais (ETAR) sendo constituído por uma rede de coletores, estações elevatórias, emissários, estação de tratamento e emissários finais (Costa, 2007; Fernandes, 2008). O dimensionamento da respetiva estação de tratamento inclui, necessariamente, a caracterização qualitativa e quantitativa do efluente bruto e da qualidade pretendida para o efluente tratado. Na figura 2.1 resumem-se as principais etapas de tratamento que, de uma forma geral, estão incluídas numa ETAR.

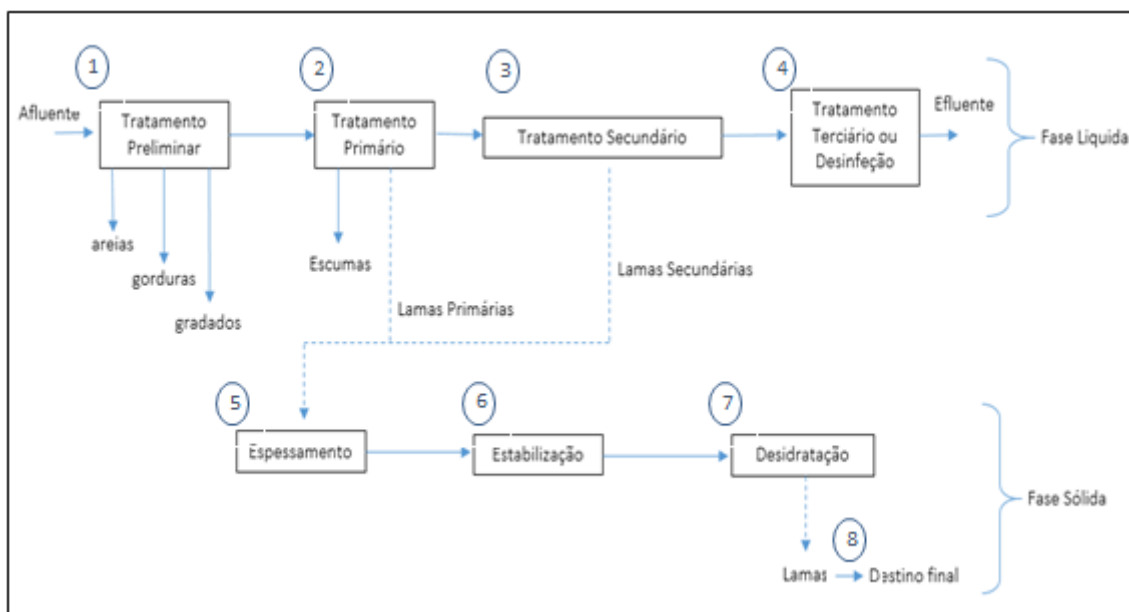


Figura 2.1. Diagrama das principais operações e processos de tratamento normalmente incluídos numa ETAR

As características mais relevantes das principais etapas que se apresentam na figura anterior, incluem:

- 1** – Processo físico para remoção de sólidos mais grosseiros, areia e gorduras;
- 2**- Processo físico onde se efetua a separação sólido-líquido que pode ser acelerado através da adição de reagentes químicos (mecanismos de coagulação/floculação);
- 3**- Permite remover matéria orgânica solúvel, coloidal e, nutrientes da água residual, através da ação de microrganismos;
- 4**- Destaca-se o processo de desinfecção do efluente (radiação UV ou Cloragem);
- 5** - Aumento da concentração de sólidos nas lamas e redução do seu volume e teor de humidade (normalmente por intermédio de processos gravíticos, por flotação ou através de processos mecânicos);
- 6**- Redução da presença de agentes patogénicos, eliminação de odores e eliminação do potencial de putrefação das lamas. A estabilização de lamas permite convertê-las num produto estável (Turovskiy & Mathai, 2006);
- 7**- Remoção da maior percentagem de água presente nas lamas de modo a limitar custos de transporte a destino final (poderá ser efetuada através de leitos de secagem ou de equipamentos mecânicos como filtros banda, filtros prensa ou centrífugas);
- 8**- Após a desidratação, as lamas podem ser temporariamente armazenadas em contentores ou silos até serem encaminhadas para o destino final adequado (como por exemplo valorização agrícola, compostagem ou aterro – sendo esta a ordem preferencial de destino).

Para procurar limitar a contaminação dos meios aquáticos por descargas indevidas a União Europeia adotou uma estratégia política de controlo, materializada pela Diretiva Europeia de Qualidade da Água (Decisão n.º 2455/2001 CE, 2001). Esta Diretiva estabelece metas a alcançar pelos Estados membros para a obtenção de parâmetros ecológicos e químicos satisfatórios das águas superficiais para 2021, ou 2027 dependendo do Estado em questão. Concretamente, 41 produtos químicos foram já definidos como substâncias prioritárias, por representarem um risco significativo para o ambiente aquático, tendo sido definidas normas de qualidade ambiental para 33 destes. Por outro lado, alguns dos poluentes indicados na Diretiva de Qualidade da Água, tais como pesticidas, produtos farmacêuticos, produtos de cuidados pessoais (PCPS) e retardadores de chama são detetados com alguma frequência nas águas residuais urbanas e representam uma ameaça potencial (Kandasamy *et al.*, 2008).

Os processos de tratamento de águas residuais estão em constante avaliação e evolução por forma a se adequarem a meios urbanos antecipando possíveis problemas ambientais. Segundo o Annual Report Sanitary Engineering (2010), o maior desafio atual da engenharia sanitária reside na procura de uma relação ótima entre os custos associados às tecnologias de tratamento e a garantia da sua eficiência assegurando o cumprimento de qualidade do efluente final.

2.2. Biofiltração

O aumento das restrições legais no que se refere à qualidade da água levou ao desenvolvimento de novas tecnologias de tratamento incluindo o aperfeiçoamento dos processos já existentes como por exemplo a biofiltração (Teixeira, 2006).

A biofiltração caracteriza-se pela remoção de matéria orgânica através de microrganismos, os quais aderem a um meio filtrante formando um biofilme. Este biofilme é constituído na sua maioria por bactérias heterotróficas, promovendo o crescimento de diferentes tipos de biomassa (Zuniga, 2010). Pelo facto de se conseguirem garantir concentrações elevadas de biomassa dentro do reator (claramente superiores às que estão comumente associadas aos processos por lamas ativadas), o processo de biofiltração apresenta elevadas eficiências. No entanto, é necessária uma gestão otimizada das lavagens para remover o excesso de biofilme (Inditex, 2015).

Os tratamentos biológicos convencionais de águas residuais, como por exemplo as lamas ativadas e os leitos percoladores, apresentam excelentes resultados relativamente ao seu funcionamento. No entanto, requerem elevadas superfícies de implantação o que poderá constituir um fator limitante (fator decisivo nomeadamente em grandes aglomerados urbanos) (Doutor, 2008; Ferreira, 2010).

O tratamento por biofiltração tem como objetivo a remoção de matéria orgânica dissolvida presente na água residual que, ao passar por um meio filtrante fica retida formando um biofilme. A combinação do processo da remoção orgânica com a filtração elimina a necessidade de uma etapa seguinte de clarificação (Moffa, 1997).

A biofiltração é um processo de biomassa fixa que tem lugar dentro de um reator biológico, de modo a assegurar as condições ambientais adequadas para o desenvolvimento dos microrganismos, permitindo a eliminação dos contaminantes presentes no efluente (Rojo, 2007). Neste tipo de

tratamento, é possível, num mesmo reator, obter a remoção de matéria orgânica dissolvida, filtração e clarificação do efluente (Samie, 2009).

Já nos processos de biomassa em suspensão, os denominados tratamentos convencionais (dos quais o mais comum, as lamas ativadas nas suas inúmeras vertentes), a biomassa utiliza o oxigénio disponível para converter a matéria orgânica existente no afluente, em dióxido de carbono, água e energia, geralmente no interior de um reator que funciona em regime de mistura completa ou de fluxo pistão, onde a biomassa é mantida em suspensão através do uso de arejadores mecânicos, ou pela turbulência criada pelos difusores ao introduzir ar no sistema.

A biodegradação gerada nesta etapa depende de um arejamento correto (níveis de oxigénio dissolvido) e de uma concentração ideal de microrganismos (Luizi, 2012).

A presente dissertação incide no estudo dos filtros biológicos aeróbios que consiste num processo de tratamento de biomassa fixa, num meio filtrante em suspensão, que se mantém constantemente em movimento devido à presença de uma força motriz que pode ser transmitida através da injeção de água, ar, ou uma turbulência de origem mecânica (Rojo, 2007).

2.2.1. Evolução da biofiltração

A procura de novas soluções com eficiências igualmente elevadas levou a que fossem delineados tratamentos biológicos mais compactos, potencialmente com custos de operação mais baixos procurando, ao mesmo tempo, ir ao encontro de uma redução do odor e ruído, aplicando os princípios básicos da remoção biológica. No final dos anos 30 foram desenvolvidos os primeiros filtros imersos com injeção de ar (Pramanik *et al.*, 2012). Em 1943, o tratamento secundário através do contacto submerso, com introdução de ar em tanques de decantação, já era capaz de alcançar eficiências de remoção de CBO₅ superiores a 80% em 74 estações de tratamento de águas residuais nos EUA (Pramanik *et al.*, 2012 citando Griffith, 1943).

A filtração é um dos processos mais importantes de tratamento utilizado em águas de abastecimento e tratamento de águas residuais (Kumar, 2013). No tratamento de águas de abastecimento é utilizada para a produção de água potável (remoção de matéria em suspensão e de microrganismos, permitindo um melhor desempenho dos processos de desinfecção), enquanto que no tratamento de águas residuais o principal objetivo é produzir efluentes de maior qualidade de modo a limitar as consequências no meio recetor (Chaudhary, 2003).

A biofiltração decorreu do estudo da colonização dos filtros convencionais, comumente utilizados para produção de água potável (Rocher *et al.*, 2012; Doutor, 2008).

Os primeiros ensaios em filtros com biomassa fixa decorreram da tentativa de otimizar o processo de lamas ativadas, o que resultou num processo combinado entre biomassa fixa e simultaneamente em suspensão. No entanto, a pequena área (superficial) disponível do material de suporte traduzia-se em baixas eficiências processuais (AEAG, *et al.* 1995).

Os principais tratamentos biológicos aeróbio de biomassa fixa e em suspensão são resumidos na figura seguinte.

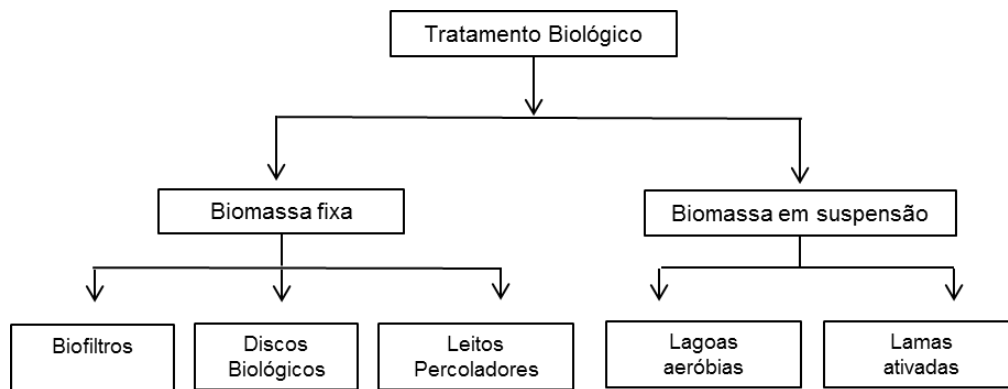


Figura 2.2. Diferentes tipos de tratamentos secundário.

(Adaptado de Rojo, 2007)

A primeira geração de biofiltros caracterizava-se por recorrer a uma pré-oxigenação da água a tratar anterior ao reator biológico. Estando limitada apenas a águas residuais pouco concentradas esta tecnologia estava associada a custos muitos elevados e a capacidade de tratamento estava dependente da quantidade de oxigénio doseada no processo (AEAG, *et al.* 1995).

Segundo Osorio e Hontoria (2001), mais tarde, de modo a alargar o domínio de aplicação desta tecnologia, surgiu uma nova geração de biofiltros em que é introduzido ar diretamente no reator. As primeiras estações de tratamento equipadas com esta tecnologia começaram por ser construídas no início dos anos 80. Em 1992 já existiam aproximadamente 50 estações espalhadas pelo mundo. Inicialmente esta tecnologia foi desenvolvida no sentido de remover apenas carbono sendo mais tarde ampliada também para a remoção de azoto (processo de nitrificação e desnitrificação) (AEAG, *et al.* 1995).

Na figura 2.3 resumem-se as diferentes fases presentes no interior de um biofiltro.

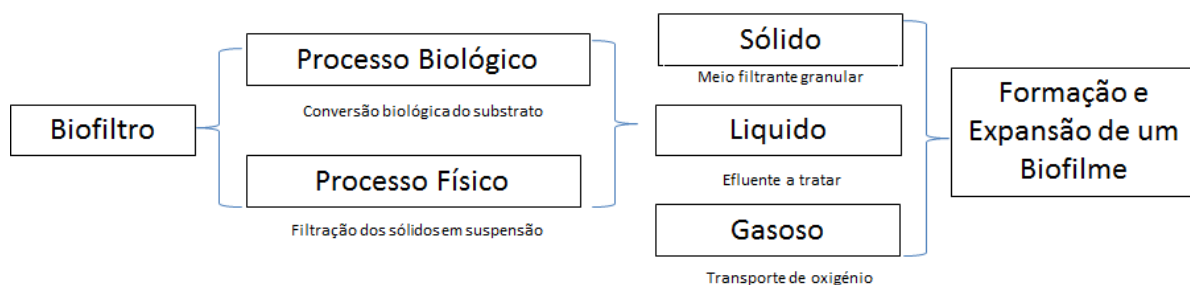


Figura 2.3. Diferentes fases de um biofiltro

Esta tecnologia é considerada como sendo um dos processos biológicos de água residual mais eficiente no que diz respeito à remoção de matéria orgânica (Pramanik *et al.*, 2012).

2.2.2. Princípio de Funcionamento

Segundo Kandasamy *et al.* (2008), qualquer tipo de filtro em que existe biomassa fixa ao meio filtrante pode ser considerada como sendo um biofiltro.

Um biofiltro é constituído por um material filtrante biologicamente ativo, que se encontra imerso, pelo qual o efluente passa e onde há a retenção de sólidos em suspensão e a matéria orgânica é degradada (Melo, 1996).

Este processo pode ser operado em condições aeróbias, com consumo de oxigénio e, ou em condições anóxicas conforme os objetivos de tratamento (AEAG, *et al.* 1995).

A eficácia do processo de biofiltração depende da atividade da comunidade microbiana que, aderindo ao meio filtrante, oxida a matéria orgânica presente na água (Kandasamy, 2008).

O processo de formação do biofilme, bem como os fatores que influenciam a filtração biológica e os detalhes da comunidade microbiana no interior de um biofiltro, são discutidos posteriormente.

As condições necessárias à remoção de CBO_5 e, também, para que haja nitrificação, estão reunidas sempre que num filtro biológico haja fornecimento de oxigénio. Há, todavia, um aspeto muito importante a ter em conta, que reside no facto de se desconhecerem ainda as condições operacionais perfeitas.

2.2.3. Aspetos Técnicos

2.2.3.1. Meio Filtrante

O material que serve de suporte ao biofilme tem como objetivo a fixação da biomassa e a retenção dos sólidos em suspensão (Melo, 1996). Diferentes tipos de materiais podem ser utilizados como meio filtrante dependendo do tipo de água residual e dos objetivos de qualidade. No entanto, o critério fundamental da escolha reside em encontrar um equilíbrio no tamanho do material de forma a que não seja demasiado grande, por forma a garantir um tratamento eficaz, nem demasiado pequeno evitando assim problemas de colmatção (Osorio, Hontoria, 2001).

A escolha do material vai residir: no tamanho do grão que, dependendo do tipo de sólidos em suspensão, pode variar entre 2 e 6 mm; na densidade do material; na resistência à abrasão; na uniformidade do material granular, de forma a limitar o risco de rápida colmatção do filtro devido a partículas finas que sedimentam (Inditex, 2015).

O meio filtrante influencia significativamente as características hidráulicas do processo e a transferências de oxigénio na biomassa (Mendoza-Espinosa, 1999).

Segundo J.Kandasamy e S.Vigneswaran (2008), os primeiros biofiltros foram originalmente concebidos utilizando como meio filtrante pequenas rochas e escórias. Atualmente são mais usuais outros tipos de meio filtrante como materiais de plástico e materiais de origem sintética, como por exemplo as esferas de poliestireno. Quando se opta por um material granular, o sistema é capaz de remover em simultâneo matéria orgânica e sólidos em suspensão, não sendo necessária a operação de decantação secundária.

De acordo com o estudo de Pramanik B.K *et al.* (2012), quanto mais pequeno for o tamanho do meio filtrante maior será a superfície por unidade de volume para o desenvolvimento do biofilme

minimizando o volume do biofiltro. Os resultados comprovam que meios filtrantes mais pequenos apresentam uma eficiência de remoção de CQO superior, em comparação com meio filtrante de maiores dimensões (83% contra 77%). Por isso, a seleção do meio filtrante constitui um fator decisivo no que se refere ao desenvolvimento do biofilme para a obtenção de boas eficiências de remoção.

2.2.3.2. Biofilme

Segundo Melo *et al.* (1996) o biofilme é um agregado microbiano que se forma à volta de um meio filtrante, imerso numa matriz altamente hidratada constituída por polímeros extracelulares por eles libertados. Pode-se considerar como sendo um processo biológico em que microrganismos se fixam a um material de suporte e criam uma camada com uma elevada concentração de biomassa, cobrindo-o

(Rojo, 2007). Esta agregação formada sobre a superfície de um sólido, que atua como suporte, permite à comunidade microbiana a realização das suas funções vitais tornando-as mais seletivas e captando desta forma uma maior concentração de nutrientes.

De acordo com Rittmann and McCarty (2001), a imobilização do biofilme formado dentro de uma célula de biofiltração tem vindo a ganhar cada vez mais interesse no tratamento de efluentes pois essa imobilização natural permite tempos de retenção superiores e uma grande acumulação de biomassa, dispensando a necessidade de mais etapas a jusante.

O processo da formação de um biofilme apresenta grande complexidade e por isso tem sido alvo de estudo nos últimos anos. Para além dos aspetos referidos anteriormente, os parâmetros como a carga hidráulica, as técnicas de lavagem, a temperatura, o pH, etc., podem afetar igualmente o crescimento da biomassa no interior do biofiltro.

Várias teorias têm sido propostas, nomeadamente a de que o biofilme constitui um sistema estratificado que se desenvolve de forma perpendicular ao meio filtrante, havendo uma transferência de massa desde a camada formada à superfície até à camada mais interna (Rojo, 2007). O desenvolvimento do biofilme é o resultado da transferência de massa entre as diferentes camadas que se vão formando sob o meio filtrante (Evans, 2003 citando Beer and Stoodley, 1995). Nas figuras 2.4 e 2.5 a) e b) estão representados um esquema da formação de um biofilme e o processo de formação e aderência do biofilme ao meio filtrante, respetivamente.

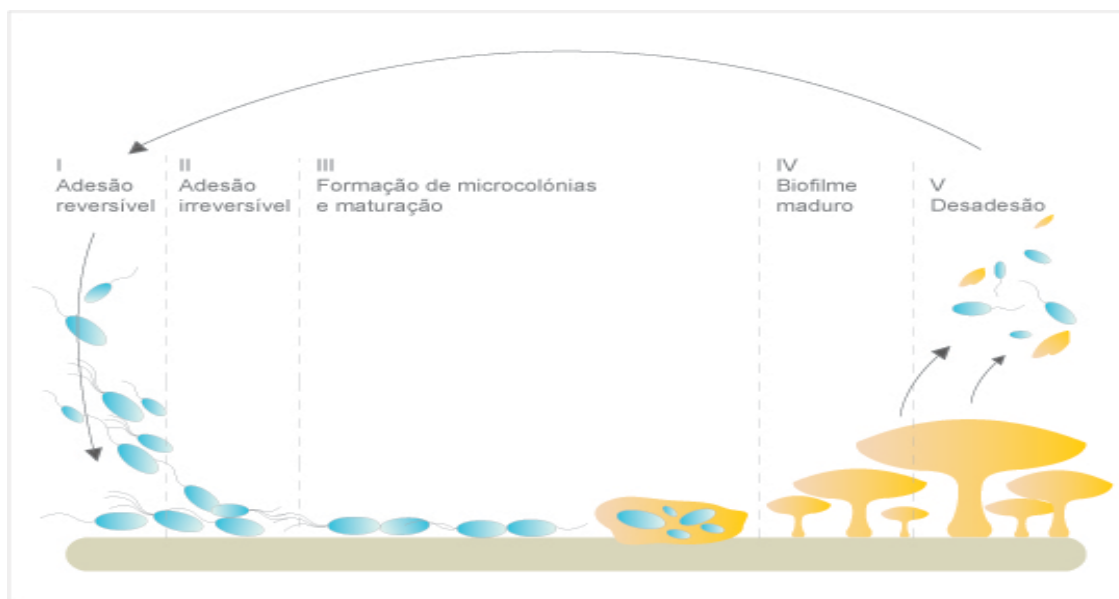
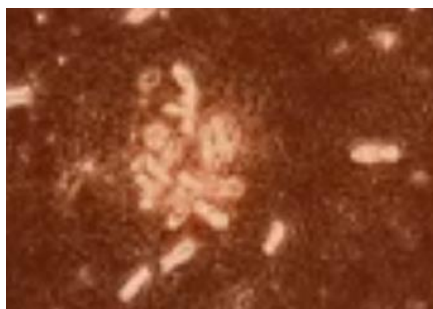


Figura 2.4. Representação esquemática das várias etapas de desenvolvimento de um biofilme (adaptado de Ghigo et al., 2003)

O processo de aderência dos microrganismos ao meio filtrante pode ser dividido em 4 fases:

1. Desenvolvimento de uma película superficial em torno do meio filtrante;
2. Transporte de células para a superfície;
3. Adesão;
4. Colonização da superfície.



a)



b)

Figura 2.5. a) Formação do biofilme ; b) aderência do biofilme ao meio filtrante

(Fonte: Veolia Water Solutions – Filme de apresentação da tecnologia BIOSTYR®)

2.2.3.3. Fluxos de alimentação

Relativamente às características de alimentação, os biofiltros podem ser caracterizados quer pela entrada de ar, quer pelo sentido do efluente (Espinoza, 1999, citando Le Cloirec and Martin). Simultaneamente, a hidrodinâmica dentro do reator influencia o desenvolvimento do biofilme.

Os biofiltros podem ser operados em co-corrente ou em contracorrente dependendo da configuração proposta pelo fabricante e pelo tratamento pretendido (Pramanik, B *et al.*, 2012).

A alimentação do ar em co-corrente facilita a circulação e distribuição do fluido enquanto que em contracorrente melhora a transferência de oxigénio. Num sistema com injeção de ar em contracorrente a água residual afluí ao biofiltro pelo topo da célula enquanto o ar entra pela base. São mais eficientes quando a remoção da matéria orgânica e a amónia são requeridas no reator. Neste tipo de reatores os microrganismos nitrificantes são geralmente encontrados na base do reator e por isso não sofrem limitação de oxigénio (Strikauska *et al.*, 2007).

Em sistemas em que o ar é distribuído em co-corrente, a água residual entra pela base do filtro no mesmo sentido que o ar. Estes sistemas podem suportar maior caudal comparativamente com os sistemas em contracorrente (Pramanik *et al.*, 2012). Além de suportar um maior caudal, o sistema co-corrente tem ciclos operacionais mais longos e os odores não constituem um problema visto que o ar atmosférico só entra em contacto com o efluente tratado no topo do filtro (Strikauska *et al.*, 2007). A alimentação do filtro no sentido ascendente assegura uma distribuição uniforme da água e do ar e atua de modo a reduzir o aprisionamento de bolhas de ar conseguindo alcançar uma proporção ótima no rácio superfície/volume (Vigne *et al.*, 2011).

Ao longo da fase de filtração há um aumento progressivo da perda de carga que pode ir até um máximo de 2,0 metros, após o que o biofiltro deverá entrar em lavagem. Num filtro com alimentação em co-corrente, esse aumento tende a ser inferior comparativamente aos filtros em contracorrente. No entanto em filtros de fluxo ascendente a perda de carga aumenta exponencialmente no final do ciclo, enquanto os sistemas em contracorrente se mantêm com um comportamento normal (Pramanik *et al.*, 2012).

Na figuras 2.6 encontra-se, respetivamente, uma representação de um biofiltro de fluxo descendente (a) e um biofiltro de fluxo ascendente (b).

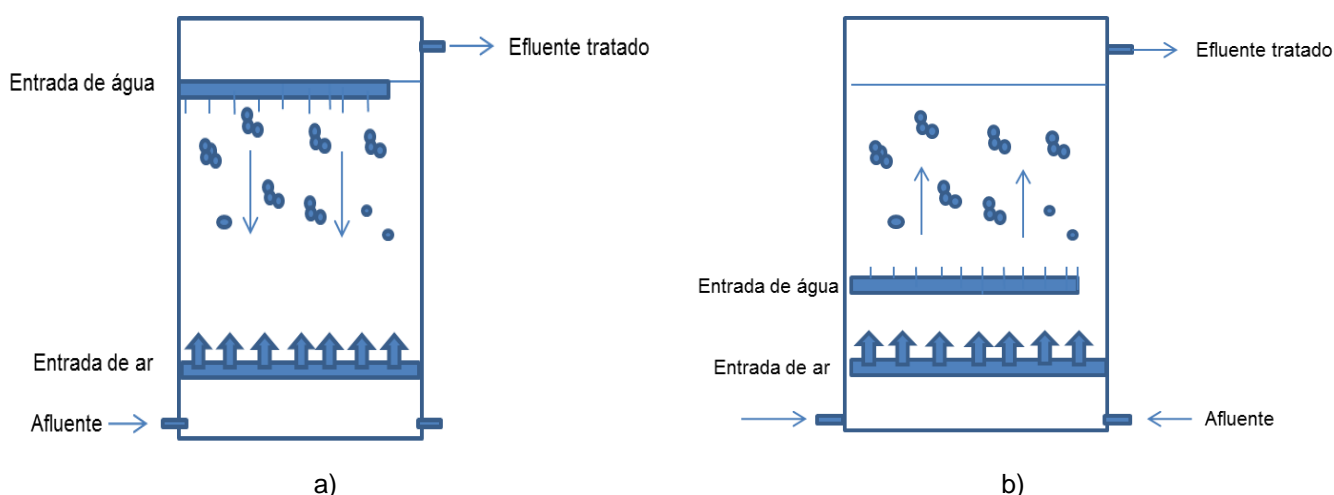


Figura 2.6. Mecanismos de alimentação: a) Fluxo descendente e b) Fluxo ascendente

2.2.3.4. Características de Lavagem

A lavagem dos biofiltros tem sido alvo de inúmeros estudos ao longo dos anos, pois as condições operacionais ótimas apresentam grande complexidade (Wang *et al.*, 2011; Kumar, *et al.*, 2013).

A questão central da biofiltração consiste na procura de um equilíbrio entre a carga aplicada e a frequência e a duração da lavagem. A necessidade de lavagem varia de acordo com a dimensão e tipo de material filtrante, com o caudal afluente à biofiltração, com as cargas aplicadas e, finalmente, com a natureza da biomassa (Metcalf & Eddy, 2014).

Em função do crescimento da biomassa, os sólidos retidos e a matéria em suspensão vão-se acumulando no interior do reator durante a fase de filtração, onde ocorre alguma desfragmentação do meio filtrante, o que origina um aumento progressivo da perda de carga. Durante este processo, os biofiltros acabam por colmatar devido à acumulação de sólidos no seu interior, pelo que é necessário recorrer periodicamente à lavagem assegurando desta forma um desempenho eficiente (Wang *et al.*, 2011).

A lavagem é essencial para assegurar o equilíbrio da comunidade microbiana no interior do biofiltro, removendo as células mortas e os produtos finais que podem pôr em risco o ambiente microbiológico e originar espaço livre para o desenvolvimento de novos organismos (Kandasamy, 2008). Deve ser operada em condições tais que o meio filtrante não seja danificado e a duração dos ciclos de lavagem seja otimizada, minimizando ao mesmo tempo o consumo de energia, bem como o caudal de ar e da água de lavagem otimizando assim todo o processo (Wang *et al.*, 2011; Mendoza-Espinoza, 1999).

O ciclo de lavagem é constituído por uma alternância entre fluxo de ar e água, que irá remover as partículas em excesso. A lama gerada durante a lavagem pode ir para um espessador ou ser enviada para o tratamento primário (Moffa, 1997).

O tempo de duração de um ciclo de funcionamento situa-se, em regra entre as 24 e 48 horas sendo que a duração de um ciclo pode ainda assim sofrer alterações dependendo do tipo de meio filtrante e das cargas aplicadas (Inditex, 2015).

A lavagem envolve, por norma, colocar o filtro fora de serviço iniciando-se um ciclo alternado entre fases de ar e água, de forma automatizada, através da abertura e fecho de válvulas com temporizadores. Nos filtros em que o meio filtrante tem uma densidade inferior à da água, isto é, biofiltros operando em fluxo ascendente, no que diz respeito à velocidade da água de lavagem, esta tem de ser muito superior comparativamente ao modo de filtração de modo a provocar uma expansão do meio filtrante que inicialmente se encontra maioritariamente à superfície (Metcalf & Eddy, 2014).

Por norma e na maior parte dos modelos existentes de biofiltros, parte do efluente tratado é normalmente armazenado e usado como água de lavagem. O ar de lavagem é injetado através de orifícios situados na base do reator (Mendoza-Espinosa, 1999).

Os ciclos de lavagem de um biofiltro podem ter uma duração variável entre os 20 e os 40 minutos. Apesar dos tempos ótimos de lavagem ainda serem objeto de estudo, já existe um intervalo de valores mais ou menos consensual que permitem obter as eficiências esperadas (Inditex, 2015).

Normalmente, a operação de lavagem é automatizada e programada para coincidir com períodos noturnos, com o objetivo de evitar picos hidráulicos com afluências de cargas muito elevadas e diminuir consumos energéticos (AEAG, *et al.*, 1995).

Os ciclos de lavagem compreendem três etapas:

- Libertação dos sólidos retidos na base do biofiltro aplicando grandes caudais de ar;
- Desagregação de parte do biofilme alternando ar e água;
- Enxaguamento.

A lavagem é fundamental não só para repor as condições do meio, mas também para evitar a separação excessiva de biofilme da superfície do meio filtrante. Por isso é muito importante que a escolha da velocidade do ar e água sejam avaliadas (Forster, 2003 & Evans, 2000). Estes valores são apresentados mais à frente no capítulo 3.2.3, na descrição dos parâmetros de operação.

2.2.3.5. Tipos de Biofiltros

Diferenciam-se dois tipos de biofiltros. Alguns filtros são considerados como sendo de biomassa fixa pois, apesar de não se encontrarem fixos dentro do reator, atuam como um filtro rápido de areia uma vez que o material filtrante é de alta densidade e acaba por ficar assente na base do filtro. Outros são definidos como sendo de biomassa em suspensão pois o meio filtrante que os constitui tem densidade inferior à água ficando a flutuar no meio filtrante (Inditex, 2015).

Devido ao elevado consumo energético associado à lavagem e à complexidade das condições operacionais, a utilização da biofiltração como sistema de tratamento sempre foi alvo de muitas experimentações (Mendoza-Espinosa, 1999 citando Carrand *et al.*, 1990), existindo atualmente vários modelos disponíveis dependendo do tipo de tratamento pretendido. No entanto, existem alguns estudos em que é efetuada a comparação do desempenho dos diferentes tipos de configurações dos biofiltros (Rojo, 2007).

A tabela 2.1 resume a informação mais relevante de um conjunto de biofiltros patenteados.

Tabela 2.1. Diferentes tipos de biofiltros

Biofiltro	Fluxo/ Alimentação	Lavagem	Tipo de meio filtrante	Meio filtrante	Densidade	Dimensão do meio filtrante (mm)	Área superficial (m ² /m ³)	Altura do leito (m)	NH ₄ ⁺ Removido (kg.m3/d)	CBO ₅ Removido (kg.m3/d)	Empresa
Biocarbone	Contracorrente	Contracorrente	Fixo	Xisto expandido/família de silicatos	1.6	2,5-6	1,5	2-3	0,3	2,5 – 3,5	OTV – Veolia Group
Biostyr	Co-corrente	Contracorrente	Suspensão	Poliestireno granular	0,04-0,05	3-3,5	1000	2 - 4	1,0 – 2,0	1,5 - 5	OTV – Veolia Group
Biopur	Contracorrente	Contracorrente	Fixo	Plástico estruturado	N.D	N.D	250 - 400	1,2 – 2,5	N.D	N.D	WABAG
	Co-corrente			Material granular							
Biofor	Co-corrente	Cocorrente	Fixo	Lâminas de plástico corrugado	1.5-1.6	2.7, 3,5 e 4.5	1400 -1600	3-4	N.D	1,5 - 6	Degremont Ltd
Biobead BAFF®	Co-corrente	Contracorrente	Suspensão	Plástico granular	0.95	N.D	N.D	N.D	0,6	3-5	Brightwater Engineering F.L.T Ltd

N.D – Não definido

2.2.3.6. Domínio de Aplicabilidade

Nas últimas décadas têm sido efetuados muitos estudos sobre o tratamento de águas residuais por biofiltração, devido ao seu amplo domínio de aplicações. No entanto, ainda é difícil explicar o comportamento de um biofiltro. O crescimento de diferentes tipos de microorganismos em diferentes condições operacionais torna praticamente impossível prever à partida a sua atividade no interior de um biofiltro (Kumar et al., 2013).

Dependendo da carga orgânica afluente e dos sólidos em suspensão, a biofiltração pode aparecer em diferentes fases da linha de tratamento conforme os objetivos. Nas figuras 2.7, 2.8 e 2.9 estão representados alguns exemplos de biofiltração em diferentes linhas de tratamento.

Por forma a limitar problemas de colmatação a biofiltração é, por norma, precedida de um tratamento primário onde grande parte da matéria em suspensão é removida. O tratamento secundário remove a matéria orgânica dissolvida e os sólidos em suspensão que não foram removidos anteriormente (Chaudhary et al., 2003).

O uso de biofiltros tem sido aplicado principalmente como tratamento secundário para remoção orgânica ou tratamento terciário para nitrificação (Metcalf & Eddy, 2014). Por outro lado, a evolução dos processos de biofiltração permitiu também a sua adaptação à remoção de fósforo e a desnitrificação (Albuquerque et al., 2004). No caso do tratamento por biofiltração ser destinado apenas à nitrificação (sem a etapa de desnitrificação), a amónia é oxidada a nitrato não havendo a conversão de nitrato em azoto gasoso. Um fator muito importante a controlar neste processo é o excesso de nitratos presente no efluente final que quando descarregado nas águas superficiais pode provocar a sua eutrofização.

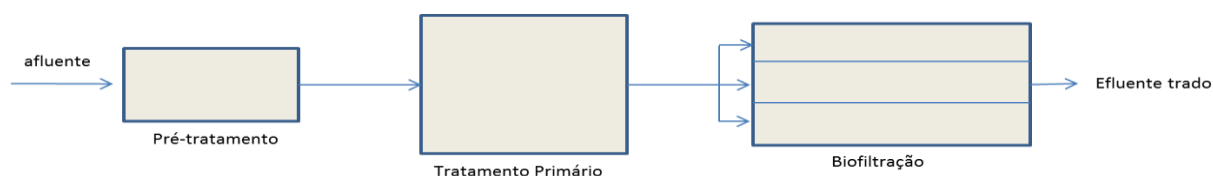


Figura 2.7. Biofiltro como tratamento secundário para remoção de matéria orgânica

(adaptado de Inditex, (2015). *Biological aerated filters (FS-BIO-006)*,

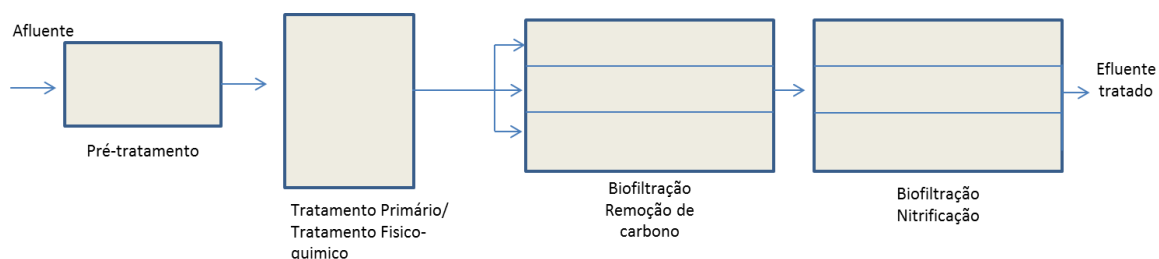


Figura 2.8. Biofiltro como tratamento secundário para remoção de carbono e nitrificação

(adaptado de Inditex, (2015). *Biological aerated filters (FS-BIO-006)*)

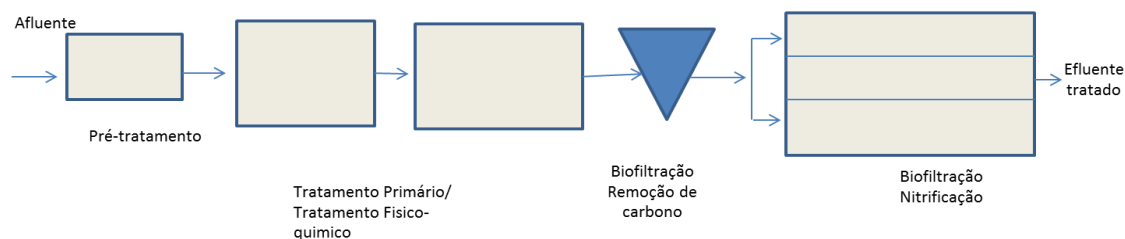


Figura 2.9. Biofiltro como tratamento secundário para nitrificação/desnitrificação e tratamento terciário (adaptado de Inditex, (2015). *Biological aerated filters (FS-BIO-006)*)

No que se refere à escolha dos diferentes tipos de tratamento disponíveis, a biofiltração tem a vantagem de se enquadrar mais facilmente numa zona urbana devido à sua compactidade tornando-se numa alternativa comparativamente a outros sistemas de tratamento convencionais como as lamas ativadas (Moffa, 1997).

2.2.3.7. Parâmetros de funcionamento

Os fatores que afetam diretamente o desempenho de um biofiltro incluem: as características do afluente, o volume disponível para a reação, o meio filtrante (propriedades do meio de enchimento, altura, durabilidade) e o biofilme (tipo de colonização e espessura) (Chaudhary *et al.*, 2003).

Os parâmetros que são utilizados para avaliar o funcionamento dos filtros durante a sua exploração incluem a carga hidráulica, o tempo de retenção e a carga orgânica em termos de CBO₅, CQO e SST. Todos estes fatores devem ser controlados para assegurar que o tratamento é efetuado com sucesso. De acordo com vários autores, as condições operacionais num biofiltro inserem-se numa vasta faixa de valores, o que já era expectável visto que aqueles parâmetros variam dependendo do tipo de sistema de biofiltração, das características do afluente e do tipo de meio filtrante (Osório, 2001 & Chaudhary *et al.*, 2003).

A carga hidráulica refere-se à velocidade de passagem da água no meio filtrante podendo alcançar valores até 20 m/h, durante a filtração (Mano 1996), sendo mais comum para a remoção de carbono e nitrificação/desnitrificação, a utilização de valores entre 1 m/h e 20 m/h.

A carga hidráulica expressa-se em m/h ou (m³/h/m²), de acordo com a equação:

$$CH = \frac{Q}{A_f}$$

Onde,

Q = Caudal em m³/h

A_f = Área de filtração em m² (A * n^o biofiltros em funcionamento)

A carga volúmica pode dizer respeito à quantidade de CBO₅, CQO ou SST afluentes ao biofiltro por unidade de volume, sendo calculada em função do caudal médio diário, da concentração média diária de matéria orgânica, e do volume para o horizonte de projeto, com eventual verificação das condições de carga para o caudal de ponta horário.

A carga volúmica expressa-se em kg/(m³.dia) e é calculada por:

$$Cv = \frac{Cm}{V}$$

Onde,

C_m= Carga de CBO₅, CQO ou SST do afluente (Kg/m³)

V = Volume (Área * altura meio filtrante)

A carga hidráulica e a carga volúmica variam em função do objetivo de tratamento (e.g. remoção carbonatada, nitrificação ou nitrificação/desnitrificação).

A Degremont, em (1994), usando como piloto um filtro patenteado, BIOFOR®, de fluxo ascendente, concluiu que o sistema a operar com cargas hidráulicas na ordem dos 6 m/h era capaz de remover uma carga de 10 Kg CQO.m³/dia. Já o grupo O.T.V (do grupo Veolia Water Solutions) concluiu, com estudos efetuados em filtros da sua patente como são exemplo o BIOCARBONE® e o BIOSTYR®, que para uma carga hidráulica de 6m/h são capazes de remover uma carga de CQO entre os 7 e os 8 Kg.m³/dia. Quando o filtro entra em lavagem a carga hidráulica aumenta para valores que variam entre 20 e 80 m/h (Moffa, 1997).

De acordo com Rojo, J., Metcalf & Eddy e de Pramanik, as cargas orgânicas mais utilizadas variam entre 3,5 e 11 Kg CQO.m³/dia para um valor limite de descarga de 90 mg/L, 1,8-2,5 Kg CBO₅.m³/dia e entre 2,5 e 3,5 Kg SST.m³/dia para um valor limite de descarga de 30 mg/L.

Por outro lado, de acordo com a Environmental Protection Agency (USA), a Water Research Council (Grã Bretanha) e a Japan Sewerage, a biofiltração é capaz de remover cargas volúmicas de CBO₅ entre os 3 e os 4 Kg.m³/dia para um valor de descarga de 20 mg/L (Rojo, 2007).

Na tabela seguinte apresentam-se os valores operacionais mais comuns de acordo com a bibliografia.

Tabela 2.2. Média dos valores dos parâmetros operacionais segundo a bibliografia*

Parâmetros	Unidades	Intervalos de valor
Carga volúmica CBO ₅	KgCBO ₅ .m ³ /dia	2 - 4
Carga volúmica CQO	KgCQO.m ³ /dia	3 - 10
Carga volúmica SST	KgSST.m ³ /dia	2 - 3
Carga hidráulica em filtração	m/h	1 - 20
Carga hidráulica em modo de lavagem	m/h	20 - 80
Tempo de retenção	min	30 - 40
Velocidade de ar em modo filtração	m/h	2 - 10
Velocidade de ar modo lavagem	m/h	10 - 12

*(Rojo, 2007; Metcalf & Eddy, 2014; Pramanik, 2012)

2.2.3.8. Necessidades de Oxigénio

O volume de ar necessário para o tratamento varia em função da carga orgânica afluente, da taxa de respiração da biomassa e da eficiência de transferência do oxigénio (Forster, 2003 citando Robinson *et al.*, 1994). A quantidade de ar injetada no filtro é essencial para alcançar o nível de tratamento pretendido. Se a taxa de transferência de oxigénio for muito baixa, pode originar uma insuficiência na remoção do substrato e pode haver formação de zonas anóxicas dentro do reator. Se a taxa de transferência for muito elevada corre-se o risco de desagregar biomassa e baixar a eficiência de remoção dos sólidos em suspensão (Mendoza-Espinosa., 1999).

Condren (1990) afirma que para alguns biofiltros são precisos 70 m³ de ar para remover 1 Kg de CBO₅ solúvel, 20 m³ de ar para remover 1 kg de CBO₅ insolúvel e 200 m³ de ar para remover 1 kg de NH₄-N.

De acordo com Stensel et al. (1988) a eficiência da utilização de oxigénio obtida neste processo é maior comparativamente com lamas ativadas (9,2% contra 5% respetivamente) (Water Environment Federation, 2008).

De acordo com alguns autores não existe um consenso sobre a quantidade de oxigénio que deverá ser utilizada para alimentar um biofiltro, o que dificulta a comparação entre os diferentes estudos. Na tabela em baixo são apresentados alguns valores de consumo de oxigénio por Kg de matéria orgânica removido de acordo com a bibliografia.

Tabela 2.3. Resumo das necessidades de arejamento segundo bibliografia

Fonte	Ar de processo
EPA	0,5 Kg O ₂ / Kg CBO ₅ rem
J.P Canler e J.M Perret	11,6 Kg O ₂ /Kg CQO rem (projeto) 11 Kg O ₂ /Kg CQO (real)
J.P Canler e J.M Perret	5,7 Kg O ₂ /Kg CQO rem (projeto) 5,7 Kg O ₂ /Kg CQO (real)
Biocarbene como tratamento terciário (estudo Rojo, J.2007)	0,7 – 1,5 Kw/Kg.CBO ₅ rem v = 20 m/h
BIOSTYR® (como tratamento terciário) (Veolia Water Technologies)	20 m/h
BIOPUR (como tratamento terciário) (Veolia Water Technologies)	15 m/h

No entanto, no que se refere ao consumo de energia, o indicador comumente aceite varia entre 1 – 1,4 Kwh/Kg CQO removido (Rojo, 2007).

Em sistemas com nitrificação, a relação crítica entre as concentrações de O₂ e NH₄⁺, que determina o substrato limitante, situa-se entre 0,3 e 0,4 (Harremões, 1995). Isto faz do oxigénio o substrato limitante na maioria dos casos.

No caso de sistemas de nitrificação/desnitrificação em simultâneo, a competição entre as bactérias heterotróficas e autotróficas pelo oxigénio determina a estrutura do compartimento aeróbio do biofilme. Quando a relação O₂/CQO é muito pequena, o compartimento aeróbio é inteiramente dominado pelas bactérias heterotróficas e a nitrificação não ocorre no biofilme (Harremões, 1995).

2.2.3.9. Eficiências

De acordo com os estudos realizados por J.P Canler e J.M Perret e pela empresa Degrémont, os rendimentos dos biofiltros usados como tratamento secundário são os que se apresentam na tabela seguinte:

Tabela 2.4. Resultados obtidos do desempenho de filtros biológicos

Parâmetros	Afluente (mg/L)	Efluente (mg/L)	Eficiência (%)
CBO5	⁽¹⁾ 111	24	72
	⁽²⁾ 124	23	89
CQO	⁽¹⁾ 255	72	67
	⁽²⁾ 293	59	86
SST	⁽¹⁾ 71	17	71
	⁽²⁾ 103	16	90
NKT	⁽¹⁾ 21	4	80

⁽¹⁾Estudo J.P Canler; ⁽²⁾ Degrémont

Eficiência versus Carga Hidráulica

A eficiência do tratamento está diretamente relacionada com a carga hidráulica aplicada, diminuindo com o aumento de velocidade. Deste modo:

- Cargas hidráulicas mais elevadas reduzem o tempo de contacto do afluente aumentando a probabilidade de desagregação do biofilme, contribuindo para uma aceleração da colmatação do leito;
- Cargas hidráulicas mais baixas, pode dar origem a zonas anóxicas o que se pode traduzir em baixas eficiências no tratamento;

Eficiência versus Carga Volúmica

Esta relação está, na maioria das situações, associada a variações de carga orgânica que podem ocorrer devido a alguma falha na etapa anterior do tratamento, ou apenas por diminuição do número de filtros em funcionamento pois para a mesma carga a remover, ter-se-á menos volume disponível o que terá uma influência direta no desempenho do tratamento.

2.2.3.10.Vantagens e Desvantagens

Na tabela 2.5 resumem-se as principais vantagens e desvantagens associadas à biofiltração.

Tabela 2.5. Vantagens e desvantagens da biofiltração

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none">- Elevada compacidade;- Capacidade de adaptar os parâmetros; operacionais para corresponder ao fluxo de águas residuais;- Combinação de vários tipos de tratamento num mesmo reator;- Possibilidade de coexistência de atividade metabólica aeróbica e anóxica dentro do mesmo ecossistema de biomassa (LOUKIDOU E ZOUBOULIS, 2001);- A imobilização dos microrganismos permite a melhoria do contacto da biomassa com o substrato- Maior capacidade para absorver as grandes variações de cargas orgânicas (COSTA, 1989) e em consequência, apresenta uma elevada velocidade de remoção e uma menor produção de lama (Citando TAVARES, 1992 – Delmira Wolff) ;- No caso da biofiltração por fluxo ascendente, não requer equipamentos adicionais para a lavagem o que resulta em menos equipamentos instalados (sem bomba de lavagem), e menos manutenção;- *Percentagens de remoção superiores comparativamente a lamas ativadas;- Capacidade de adaptação do sistema a diferentes condições meteorológicas;-Minimização de odores gerados no tratamento;- Maior estabilidade do sistema com baixos tempos de retenção hidráulica (LAZAROVA E MANEM, 1995)	<ul style="list-style-type: none">- Complexidade em termos de instrumentação e otimização do sistema;- Custo do 1º Investimento superior comparativamente com os tratamentos convencionais;-Dificuldade em encontrar valores ótimos de volume de ar e água necessários para lavagem- Menor sensibilidade aos efeitos de toxicidade de certos elementos, assim como a outras condições ambientais adversas (BISHOP, 1997, RODGERS et al., 2003)

*As taxas de remoção orgânica são da ordem dos 4 KgCBO₅.m³/dia enquanto para valas de oxidação e lamas ativadas, os valores rondam os 0.35 KgCBO₅.m³/d e 0.42 KgCBO₅.m³/d respetivamente (Smith and Hardy, 1992).

3. Caso de estudo

3.1. Introdução

Como referido no capítulo 2, este trabalho tem por objetivo contribuir para a otimização dos parâmetros operacionais do processo por biofiltração, tendo a ETAR de Alcântara suportado o caso de estudo. Este capítulo inclui a caracterização da estação de tratamento, nomeadamente do processo biológico utilizado, bem como das suas condições de funcionamento.

3.2. ETAR de Alcântara

Neste capítulo é apresentado o processo de tratamento de águas residuais na ETAR de Alcântara. Toda a informação apresentada teve por base os documentos relativos à memória descritiva e manual de funcionamento do tratamento secundário pertencente à EPAL-LVT (2016).

A ETAR de Alcântara faz parte de um conjunto significativo das ETAR exploradas pela empresa Águas de Lisboa e Vale do Tejo, S.A, uma empresa de capitais públicos com uma gestão delegada atribuída à EPAL – LVT, tendo sido formada, em junho de 2016, pela agregação de oito empresas.

Situada no vale de Alcântara, distrito e concelho de Lisboa, a ETAR entrou em funcionamento em 1989 com tratamento primário e desinfecção com cloro, tendo sido posteriormente sujeita a grandes obras de remodelação e ampliação, tendo em conta a requalificação ambiental da zona e o seu enquadramento paisagístico, incluindo a construção e plantação de um jardim suspenso que constitui a sua cobertura. Atualmente, o processo de tratamento inclui tratamento secundário e desinfecção por radiação ultravioleta.

O Subsistema de Alcântara constituído pela ETAR (figura 3.1) e 11 estações elevatórias beneficia, aproximadamente, 756 mil habitantes, numa área total de 37 Km² permitindo o tratamento e a desinfecção de todas as águas residuais provenientes de parte do município de Lisboa, incluindo a zona ribeirinha do Terreiro do Trigo, em Santa Apolónia, até Belém, e parte dos municípios de Amadora e Oeiras.



Figura 3.1. Fotografia panorâmica do subsistema de Alcântara (EPAL - LVT, 2016)

A linha de tratamento inclui (fase líquida) tratamento preliminar (obra de entrada com remoção de areias, óleos e gorduras), tratamento primário, tratamento biológico e desinfecção; a fase sólida inclui espessamento, desidratação e estabilização química; e por último, a fase gasosa, desodorização por via química e biológica. A sequência de tratamento está descrita por fases (líquidas, sólida e gasosa), nas figuras 3.2, 3.3, 3.4 e 3.5.

Os órgãos que constituem a ETAR foram dimensionados de acordo com os caudais de projeto que se resumem nas tabelas 3.1 e 3.2 que tiveram em consideração as variações de caudal e cargas afluentes, nomeadamente em tempo seco e tempo húmido, dias úteis e fim-de-semana e, também, ao longo do tempo.

Tabela 3.1. Caudal Afluente à ETAR

Descrição	Unidade	Unidade	Ano 0	Ano 20
Tempo Seco	Caudal Médio	m ³ /dia	112 399	181 453
		m ³ /h	4 683	7 561
	Caudal de Ponta	m ³ /h	7 436	11 863
		L/s	2 065	3 295
Tempo Húmido	Caudal Médio	m ³ /dia	570 240	570 240
		m ³ /h	23 760	23 760
	Caudal de Ponta	m ³ /h	23 760	23 760
		L/s	6 600	6 600

Tabela 3.2. Capacidade máxima de tratamento para as várias etapas da linha líquida da ETAR

Etapas	Unidade	Valor Máximo
Obra de Entrada e Tratamento Preliminar	m ³ /s	6,6
Tratamento Primário	m ³ /s	6,6
Tratamento Secundário	m ³ /s	3,3
Desinfecção	m ³ /s	3,3

Os objetivos de qualidade da ETAR de Alcântara, que se resumem na tabela 3.3, são definidos pela licença de descarga para águas residuais n.º387/CM/DSAI/07 que regula a descarga dos efluentes depois de tratados na ETAR produzidos para 40.000 P.E. (Decreto-lei n.º226-A/2007 de 31 de Maio e Decreto-lei n.º236/98 de 1 de Junho).

Tabela 3.3. Objetivo de Qualidade do Efluente final

Parâmetro	Unidades	Concentração
CBO ₅	mg/L	25
CQO	mg/L	125
SST	mg/L	35

As principais características dos processos que constituem a ETAR de Alcântara são apresentadas nas figuras 3.2 a 3.5.

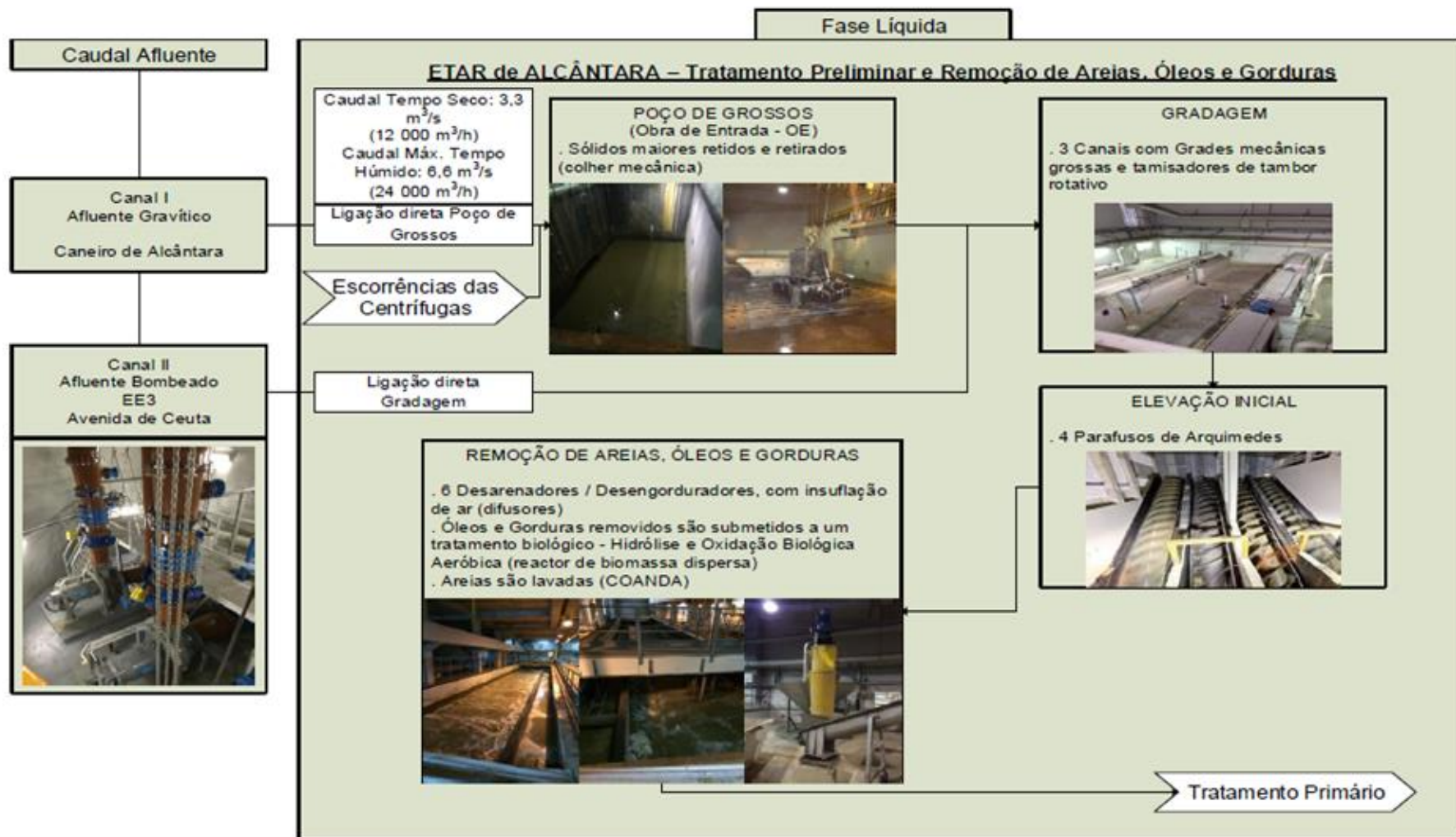


Figura 3.2. ETAR de Alcântara: Esquema representativo do Tratamento Preliminar com remoção de areias, óleos e gorduras (Mourato, 2015)

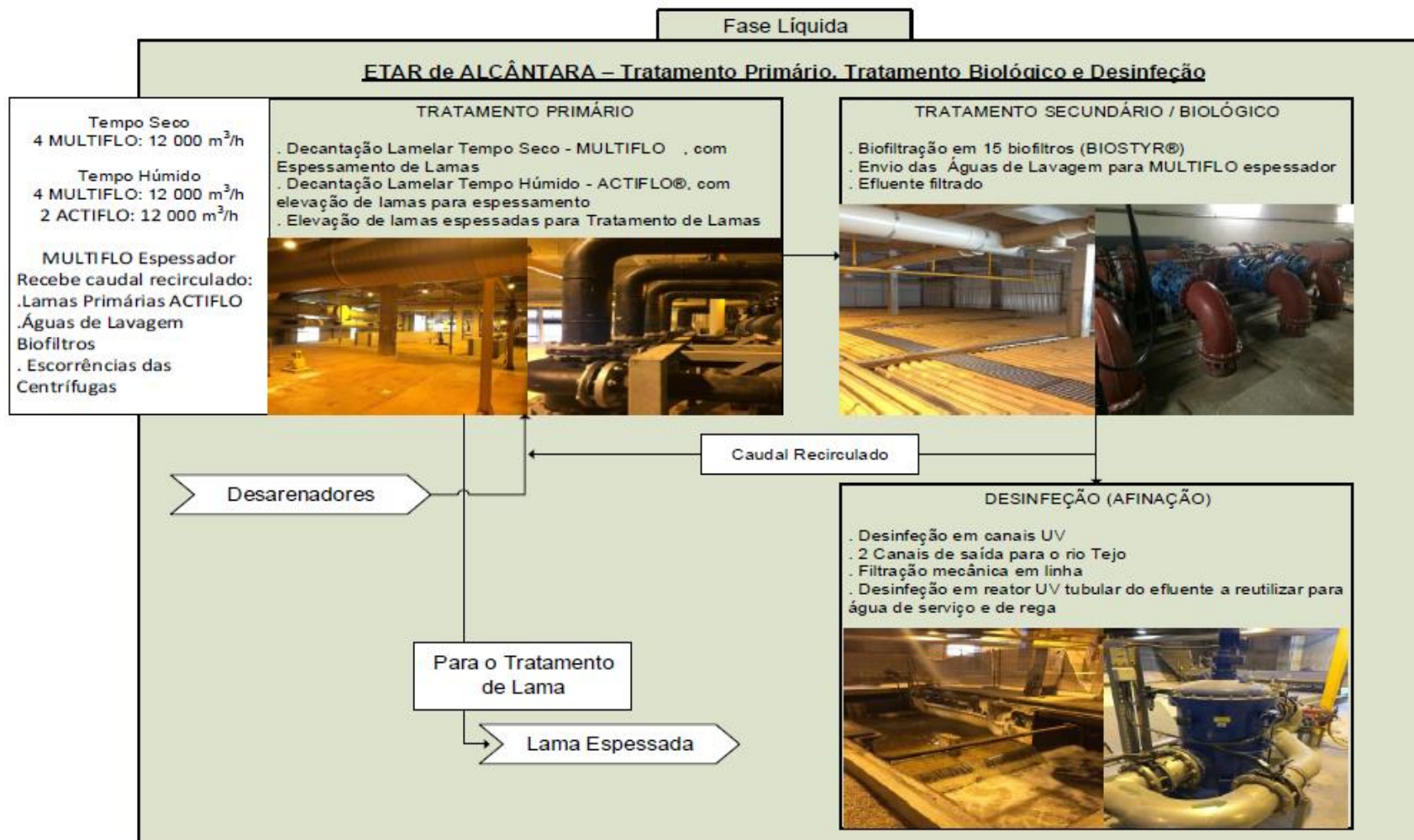


Figura 3.3. ETAR de Alcântara: Esquema representativo do Tratamento Primário, Tratamento Biológico e da Desinfecção (Mourato, 2015)

ETAR de ALCÂNTARA – Tratamento de Lamas, Armazenamento e Expedição

TRATAMENTO LAMAS

- . Lamas Espessadas – Tanque (homogeneização através do auxílio de 2 agitadores)
- . Tamisagem
- . Desidratação mecânica - 4 Centrífugas
- . Utilização de um polímero catiónico para agregação de lama – melhor secagem da lama
- . Estabilização química (Cal viva - CaO)
- . Armazenamento da lama estabilizada – Silos e Galeras (utilização do polímero catiónico para facilitação da elevação da lama para o local de armazenamento)
- . Expedição da lama estabilizada - Camiões e Galeras



ARMAZENAMENTO E EXPEDIÇÃO

- . 3 Silos com capacidade de 500 m³ (1 x 250 m³ + 2 x 125 m³) - expedição feita por Camiões
- . Capacidade total de 4 Galeras – a expedição é feita com a galera



Escorrências

Para o TAL e OE



Figura 3.4. ETAR de Alcântara: Esquema representativo do Tratamento de Lamas, Armazenamento e Expedição (Mourato, 2015)



Figura 3.5. ETAR de Alcântara: Esquema representativo da Desodorização (Mourato, 2015)

3.3 Biofiltração

3.3.1. Descrição do sistema

O tratamento secundário existente na ETAR de Alcântara é um processo biológico por biofiltração (filtros biológicos aeróbios). Após o processo de decantação primária, a água residual aflui à estação elevatória intermédia, onde o efluente é encaminhado através de uma tubagem para dois canais de alimentação, localizados no topo superior das células de biofiltração (15 células), sendo um canal para as células 1 a 8 e outro para as células 9 a 15.

O processo de tratamento escolhido para a estação foi a tecnologia do grupo Veolia Water Technologies, o BIOSTYR®. A tecnologia BIOSTYR® é caracterizada por um processo de filtração ascendente, desenvolvido na Dinamarca, que combina o tratamento biológico, a clarificação do efluente e a sua filtração num processo compacto sendo particularmente indicado como uma tecnologia excecional no que diz respeito a cumprir limites rigorosos de tratamento (Metcalf & Eddy, 2003).

Os BIOSTYR® podem ser aplicados como tratamento secundário para remoção carbono; para remoção de carbono e amónia (nitrificação); remoção de carbono combinado com pré desnitrificação e nitrificação em células separadas; remoção de carbono simultaneamente com nitrificação e desnitrificação na mesma célula, e ainda como nitrificação terciária, ou desnitrificação terciária com adição de carbono solúvel (e.g. metanol) (Veolia Water Technologies).

A grande vantagem desta tecnologia assenta na sua compacidade e na produção de um efluente final de excelente qualidade, mesmo em climas muito frios. A tecnologia BIOSTYR® não requer equipamentos adicionais para a lavagem, uma vez que a água da lavagem se escoia graviticamente através do biofiltro, no sentido descendente, a partir do canal de recolha do efluente filtrado, e o ar de lavagem é fornecido a partir da rede de ar de processo, no sentido ascendente (contracorrente).

A água de lavagem sai na base do biofiltro, fator este que constitui uma enorme vantagem, em termos de minimização de odores, comparativamente com outras tecnologias de biofiltração.

Na ETAR de Alcântara, este processo é utilizado para a remoção de CBO_5 , e sólidos em suspensão. A água a tratar circula por gravidade e atravessa o meio filtrante com um movimento ascendente e, a eliminação de carbono solúvel e a filtração de sólidos em suspensão são possíveis graças à flora bacteriana existente no material filtrante.

Este equipamento inclui um leito composto por pequenas esferas de poliestireno flutuantes mantidas em posição por intermédio de um fundo filtrante arejado através de uma grelha difusora de ar, localizada na secção inferior.

A porosidade é cerca de 40%, proporcionando uma área efetiva para o crescimento do biofilme com cerca de $400 \text{ m}^2/\text{m}^3$, sendo que a altura do meio de enchimento pode variar entre 1,5 a 3,5 metros. Em Alcântara a altura para o meio filtrante é de 3,5 metros. Pode observar-se um diagrama esquemático deste equipamento na figura 3.6.

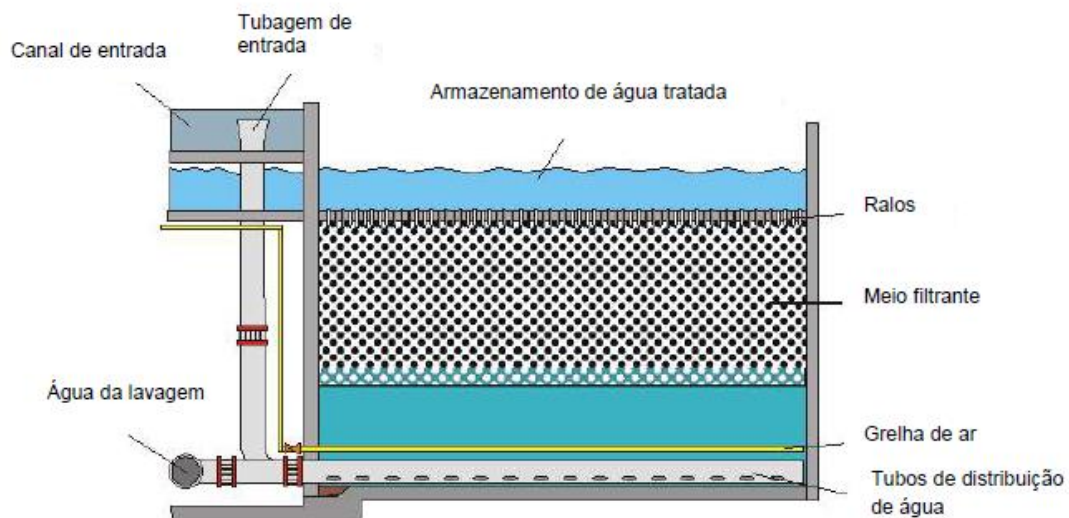


Figura 3.6. Diagrama esquemático de um BIOSTYR® – ETAR Alcântara (SIMTEJO, 2016)

Para assegurar que o consumo de oxigénio é apenas o necessário para a remoção de CBO_5 e, para evitar a nitrificação do amoníaco, o sistema de arejamento possui um controlo em linha. Deste modo, o conteúdo de amónia no efluente tratado é elevado mantendo-se baixo o nível de nitratos.

O efluente tratado sai da célula através da placa difusora, que corresponde ao “teto” do meio filtrante. A placa difusora consiste em diversas placas pré-fabricadas, construídas em betão reforçado, na qual estão embutidos difusores de polipropileno.

3.3.1.1 Necessidades de ar de processo

A necessidade de ar de processo é estimada a partir do consumo de oxigénio teórico, o qual é calculado a partir da seguinte fórmula:

$$O_2 = f_{ox} \times CQO_{removido} + 4,57 \times NH_4 - N_{removido} - 2,86 \times NO_3 - N_{removido}$$

Cálculo da necessidade de ar no processo

$f_{ox} = 1,1$ é um fator de conversão de CQO em oxigénio, que inclui a perda de transferência

A estimativa do consumo de oxigénio na ETAR de Alcântara foi realizada recorrendo a uma ferramenta da Veolia Water Solutions & Technologies, isto é, a um programa de simulação dinâmico – SIMULO. Este permite calcular as necessidades de oxigénio utilizando alguns fatores selecionados pelo projetista de forma a verificar as condições de simulação impostas pelo programa.

3.3.1.1 Controlo de nitratos

O azoto afluente encontra-se normalmente sob a forma de amónia e azoto orgânico, sendo o nível de nitratos muito baixo ou inexistente. Durante o processo de nitrificação, o amoníaco é convertido em nitratos, provocando um aumento da concentração destes e uma diminuição da concentração de amoníaco. Este processo é associado a um elevado consumo de oxigénio, dado que cada Kg de azoto consome 4,6 kg de oxigénio.

De forma a assegurar apenas o consumo de oxigénio necessário para a remoção de CBO_5 , e evitar a sua disponibilização para a nitrificação, o sistema de arejamento é controlado através do controlo mantendo um baixo teor de nitratos no efluente tratado.

Ao diminuir o valor mínimo de oxigénio necessário, o crescimento de bactérias nitrificantes é suprimido, de modo a que o amoníaco não seja transformado em nitratos. Deste modo, no efluente tratado, a concentração de azoto amoniacal é elevada mantendo-se baixo o conteúdo de nitratos.

3.3.1.1 Lavagens

A lavagem é composta por diversas operações, que incluem sequencialmente:

- Pré-lavagem apenas com água;
- Desagregação do biofilme apenas com ar;
- Sucessão de fases com ar e água;
 - Apenas com água
 - Apenas ar
- Enxaguamento apenas com água.

3.3.1.2 Mini-Lavagens

A mini-lavagem consiste numa forma de lavar parcialmente o filtro e, consequentemente, de aumentar o seu ciclo operacional.

É composta por uma pré-lavagem curta com água filtrada, uma fase de descompactação com ar e um enxaguamento final, tendo por objetivo tornar fluido o meio filtrante e eliminar as partículas retidas na sua camada inferior.

3.3.1.3 Armazenamento da água para lavagem

A água proveniente de lavagem é encaminhada para o tanque de água de lavagem, sendo posteriormente elevada para o espessador de lamas.

Uma parte do efluente tratado é armazenada por cima da placa difusora sendo utilizada para lavagem das células. De modo a haver água suficiente para a lavagem, todas as células estão ligadas hidraulicamente, entre si, através do canal de água filtrada, por onde a água flui através das aberturas nas paredes das células. A partir do primeiro canal de água filtrada (no topo das células 1 a 8), a água passa por um canal de interligação até ao segundo canal (no topo das células 9 a 15), e finalmente descarrega por uma soleira de descarga, afluindo aos canais UV.

No digrama esquemático que se apresenta nas figuras seguintes, visualiza-se o trajeto da água de lavagem dos biofiltros até ao espessador. A água utilizada para lavagem é encaminhada para o

tanque de armazenamento (figura 3.7 e figura 3.8) e de seguida enviada para o espessador (figura 3.9).

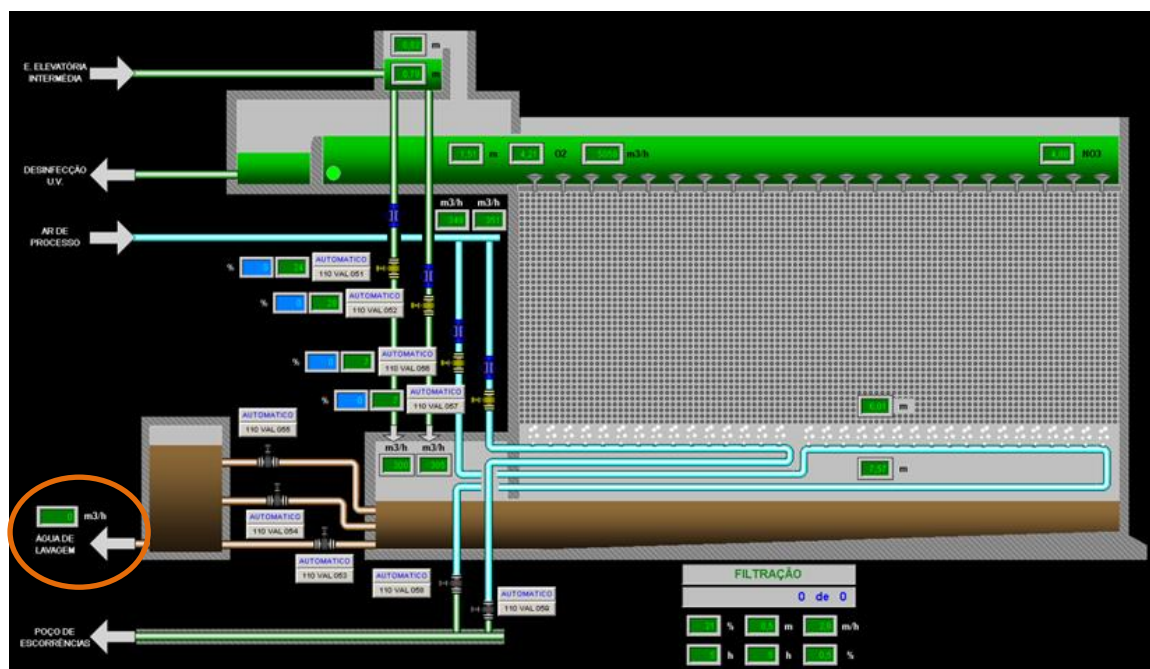


Figura 3.7. Saída da água de lavagem do biofiltro para o tanque de água de lavagem (a laranja) (EPAL – Supervisão ETAR, 2016)

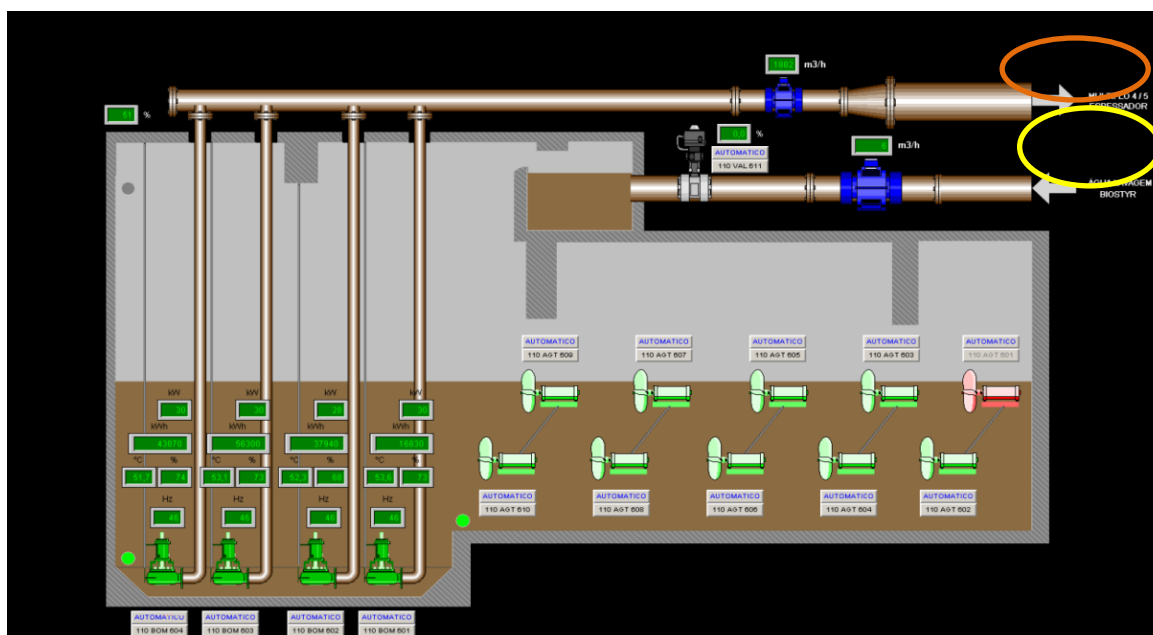


Figura 3.8. Tanque água de lavagem (a laranja – saída para o MF5; a amarelo – entrada no tanque) (EPAL – Supervisão ETAR, 2016)

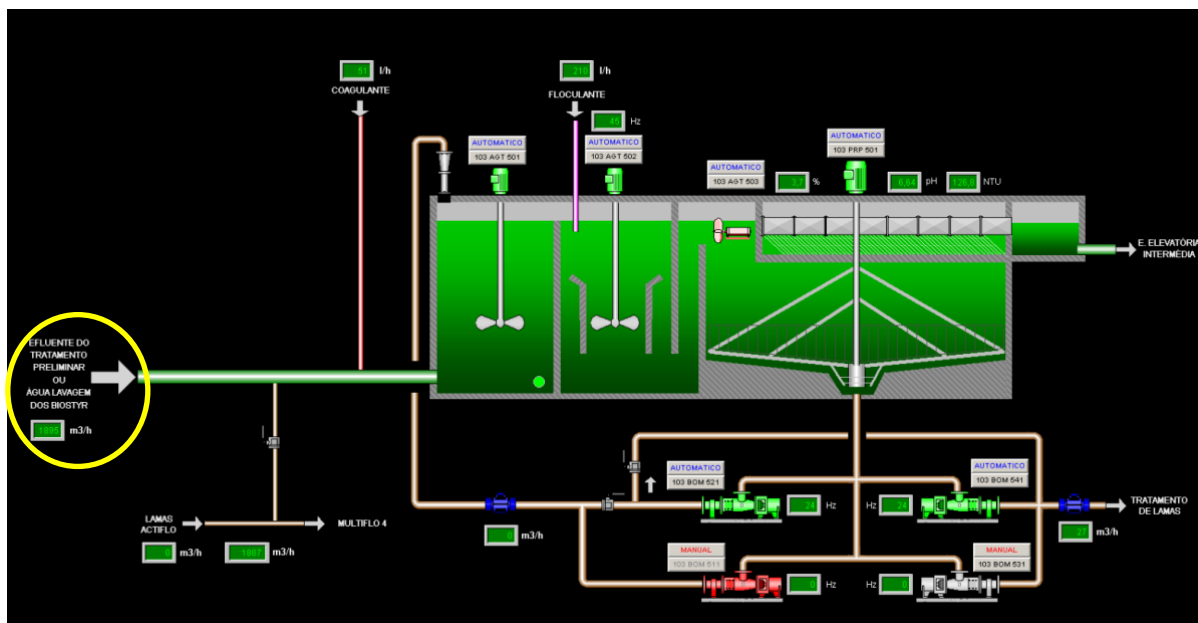


Figura 3.9. Entrada da água de lavagem do biofiltro no espessador (a amarelo)
(EPAL – Supervisão ETAR, 2016)

3.3.2 Características dos biofiltros BIOSTYR®

O processo de biofiltração é constituído por 15 células distribuídas por duas linhas (uma contendo 7 e 8 respetivamente) e está dimensionada para receber um caudal máximo de efluente primário de 12.000 m³/h (3,3m³/s), acrescido do caudal de retorno da instalação (1,1 m³/s), admitindo que duas células se encontram fora de serviço (uma em lavagem e outra em manutenção).

Os BIOSTYR® foram dimensionados com base nos seguintes parâmetros:

- CBO₅ removido: 1,5 Kg/CBO₅/m³.dia;
- CQO removido: 3,0 Kg/CQO/m³.dia;
- Carga hidráulica:
 - Q médio: 6,0 m³/m².h;
 - Q ponta: 10,0 m³/m².h.

As principais características dos BIOSTYR® incluem:

- Número de células: 15 células de 215 m²;
- Área total da instalação: 3.225 m²;
- Volume total do meio: 11.288 m³,
- Profundidade do meio: 3,5 m;
- Granulometria do meio filtrante: 4,5 mm;
- Densidade do meio filtrante: 50 kg/m³.

Admitindo a possibilidade de operação com uma célula em lavagem e outra fora de serviço para manutenção, o volume total do meio será de:

- Volume total do meio das 14 células: 10.535 m³;

- Volume total do meio das 13 células: 9.783 m³.

Dos diversos balanços de massa efetuados para a estação, destacam-se os seguintes valores correspondentes às situações mais desfavoráveis para cada um dos parâmetros indicados, para o horizonte do projeto (baixas eficiências do Multiflo), em tempo seco e tempo húmido (há que ter em conta que os parâmetros mais desfavoráveis variam conforme tempo seco e tempo húmido). Na tabela 3.4 apresentam-se as condições de funcionamento base admissíveis à biofiltração.

Tabela 3.4. Condições de funcionamento base admissíveis à biofiltração

	Tempo Seco	Unidades	Tempo Húmido
Caudal Afluente	12 000	m ³ /h	15 000
	285120	m ³ /dia	360 000
Carga CBO₅	35 223	Kg CBO ₅ /dia	28 234
Carga CQO	77 715	Kg CQO/dia	78 966
Carga SST	19 068	Kg SST/dia	15 306

Relativamente à capacidade de remoção de cargas volúmicas afluentes, a ETAR de Alcântara apresenta os valores que se apresentam na tabela seguinte:

Tabela 3.5. Cargas volúmicas máximas de remoção segundo o projeto

Parâmetro	Unidades	Tempo Seco	Tempo Húmido
Carga Volúmica CBO₅	Kg CBO ₅ /m ³ .dia	3,6	3
Carga Volúmica CQO	Kg CQO/m ³ .dia	7,9	8
Carga Volúmica SST	Kg SST/m ³ .dia	2	1,5

3.3.3 Parâmetros operacionais

3.3.3.1. Colmatação e perda de carga do filtro

A colmatação do filtro é um parâmetro importante na medida que permite a tomada de decisão de aumentar ou reduzir a frequência entre lavagens. Se o nível de colmatação tender a aumentar ao longo do tempo, a duração do ciclo deve ser encurtada e vice-versa.

A colmatação d é definida de acordo com a seguinte expressão:

$$d = 100x \left(\frac{V_Fmax}{V_F(t)} \right)^\alpha x \frac{\Delta P(t)}{\Delta Pmax}$$

Cálculo da colmatação do meio filtrante

Com:

$\Delta P(t)$: perda de carga do filtro no momento t

$\Delta Pmax$: perda de carga máxima (2,5 m)

V_Fmax : velocidade máxima da água $m^3 / (m^2 \cdot h)$ (6,5 m/h)

$V_F(t)$: velocidade da água $m^3 / (m^2 \cdot h)$ no momento t

α : 0,5 (variável entre 0,5 e 1)

3.3.3.2. Expansão do meio filtrante

Durante a lavagem, o meio filtrante poderá expandir-se entre 5 e 30% (comparado com a fase de filtração). De forma a evitar quaisquer perdas de material (devido a uma expansão excessiva), este parâmetro será determinado continuamente durante a lavagem e a mini-lavagem e será dado um alarme se a expansão ultrapassar o seu valor máximo (*setpoint*). A expansão é calculada com base na seguinte fórmula:

$$Exp = dH1 - \frac{(P2 - P1)}{0,6xHO - (dH1 - (P2 - P1))} x 100$$

Cálculo da expansão do meio filtrante

Com:

$P1(t)$: pressão medida pelo sensor PT01 situado na célula, imediatamente abaixo do meio filtrante

$P2(t)$: pressão medida pelo sensor PT02 situado na célula, no nível inferior

$dH1$: diferença de altura geométrica entre os sensores PT02 e PT01

HO : altura do meio filtrante em repouso

3.3.3.3. Lavagens

Na tabela 3.6 apresenta-se o detalhe das várias etapas que constituem a lavagem, bem como os tempos e velocidades de operação adotado.

Tabela 3.6. Etapas de lavagem

Tempos	Tempo (s)	Fases	Velocidades de lavagem (m/h)	Intervalos possíveis
T0	45	Pré lavagem com agua	60	30 - 180
T2	180	Descompactação com ar	12	30 - 240
T14	30	Pausa	-	-
T1	150	Lavagem com água	60	30 - 240
T2	180	Descompactação com ar	12	-
T14	30	Pausa	-	-
T1	150	Lavagem com água	60	-
T2	180	Descompactação com ar	12	-
T14	30	Pausa	-	-
T3	300	Enxaguamento	60	0 - 180

Cada um dos biofiltros tem uma frequência máxima de uma lavagem por célula por dia. Uma lavagem atualmente tem a duração de 21 minutos e 25 segundos podendo ter outras durações mediante a parametrização das etapas de lavagem.

O volume da água da lavagem utilizada é de 3,5 vezes o volume do meio filtrante, pelo que:

- 15 células BIOSTYR® com uma área por célula de 215 m² e uma altura de meio filtrante de 3,5 m, totalizam: $15 * 215 * 3,5 * 3,5 = 39.506 \text{ m}^3/\text{dia}$

A água proveniente da lavagem dos biofiltros aflui ao tanque de água da lavagem com o volume útil de 4469 m³, que recebe igualmente as escorrências da desidratação de lamas.

3.3.3.4. Mini-lavagens

A mini-lavagem reside num único ciclo de lavagem com a duração de 180 segundos, composto por uma pré-lavagem com água, seguida por uma desagregação com ar e finalmente enxaguamento com água.

Na tabela seguinte resumem-se as principais fases efetuadas numa mini-lavagem e, na tabela 3.8 as velocidades de operação em modo filtração e em modo lavagem.

Tabela 3.7. Fases da mini-lavagem

Tempo	Duração (s)	Fases	Velocidades (m/h)
T21	60	Pré lavagem com água	60
T20	60	Descompactação com ar	12
T3	60	Enxaguamento	60

Tabela 3.8. Velocidades de operação com 15 biofiltros em funcionamento

	Unidades	Modo filtração	Modo lavagem
Velocidade de água	m/h	6	60
Velocidade de ar	m/h	10	12

Eficiências teóricas

No que respeita às eficiências de remoção previstas pelo projetista da ETAR, os valores encontram-se resumidos na tabela em baixo.

Tabela 3.9. Eficiência de remoção teórica

Eficiência remoção teórica		
SST	CQO	CBO ₅
[%]	[%]	[%]
Tempo Seco		
77	79	85
Tempo Húmido		
56	73	76

4. Metodologia

4.1. Introdução

Após a sua requalificação e entrada em funcionamento, em 2009, tem sido feito na ETAR de Alcântara um esforço constante com o objetivo de melhorar os seus padrões de eficiência sem comprometer os objetivos de qualidade do efluente tratado definido na sua licença de descarga. O presente trabalho tem por objetivo procurar contribuir para a otimização do processo de tratamento biológico.

Este capítulo descreve a metodologia utilizada para a prossecução do caso de estudo tendo sido consideradas duas etapas, que foram sendo adaptadas ao longo do tempo.

A primeira etapa incluiu a familiarização com a ETAR e a análise da informação de base e a segunda, a análise das condições de operação do processo da biofiltração, planeamento de alterações, análise de resultados obtidos e da sua repercussão na qualidade do afluente tratado.

4.2. Primeira Etapa

O trabalho iniciou-se com o acompanhamento do trabalho diário dos operadores com o objetivo de melhor compreender o funcionamento da ETAR e as tarefas diárias a ela associadas. Esta primeira etapa foi muito importante pois facilitou a etapa seguinte, uma vez que com o conhecimento dos processos e problemas associados ao funcionamento da estação, a análise crítica dos dados se tornou mais clara.

Simultaneamente, foi analisada a informação existente relativa ao ano de 2015 com o objetivo de avaliar as condições de funcionamento dos biofiltros, quais os parâmetros de operação e eficiências de remoção.

Foram avaliadas as condições de afluência quer à ETAR, quer à biofiltração, e deste modo, puderam ser calculadas as cargas orgânicas afluentes ao tratamento e sua comparação com os valores teóricos.

A informação quantitativa e qualitativa obtida permitiu estimar as cargas efetivamente removidas, e compará-las com os valores teóricos. Procedeu-se igualmente à análise dos incumprimentos na descarga do efluente tratado, tendo-se procurado avaliar a relação com a biofiltração, nomeadamente através da análise dos seguintes parâmetros:

- Caudal afluente à biofiltração;
- Concentrações de CBO₅, CQO e SST afluentes;
- Cargas mássicas de CBO₅, CQO e SST afluentes;
- Altura do meio filtrante;
- Número de biofiltros em funcionamento;
- Carga hidráulica;
- Cargas volúmicas de CBO₅, CQO e SST afluentes;
- Caudal afluente ao MF5 (constituído pelas lamas primárias em tempo húmido, pela água de lavagem dos biofiltros, e retornos da desidratação);
- Turvação à saída do MF5.

Por forma a procurar avaliar a possibilidade de se poderem introduzir alterações processuais no tratamento secundário, foi analisado o comportamento e a variação dos parâmetros colmatção, perda de carga e expansão dos biofiltros para um período temporal de 6 meses. A análise destes parâmetros é importante na tomada de decisão de se aumentar ou reduzir a duração do ciclo entre duas sequências de lavagem e, por isso, o valor real destes parâmetros foi registado diariamente por forma a analisar se existe uma tendência ao longo do tempo. Se o nível de colmatção tender a aumentar, a duração do ciclo deve ser encurtada, e vice-versa. Foi representada graficamente apenas a variação da colmatção e expansão. Quanto aos valores de perda de carga, tem-se que a sua variação está diretamente relacionada com a percentagem de colmatção dos biofiltros optando-se por representar apenas esta última.

Na figura 4.1 encontra-se sintetizada a primeira etapa da metodologia sendo que o resultado para cada uma destas etapas é apresentado no capítulo 5.

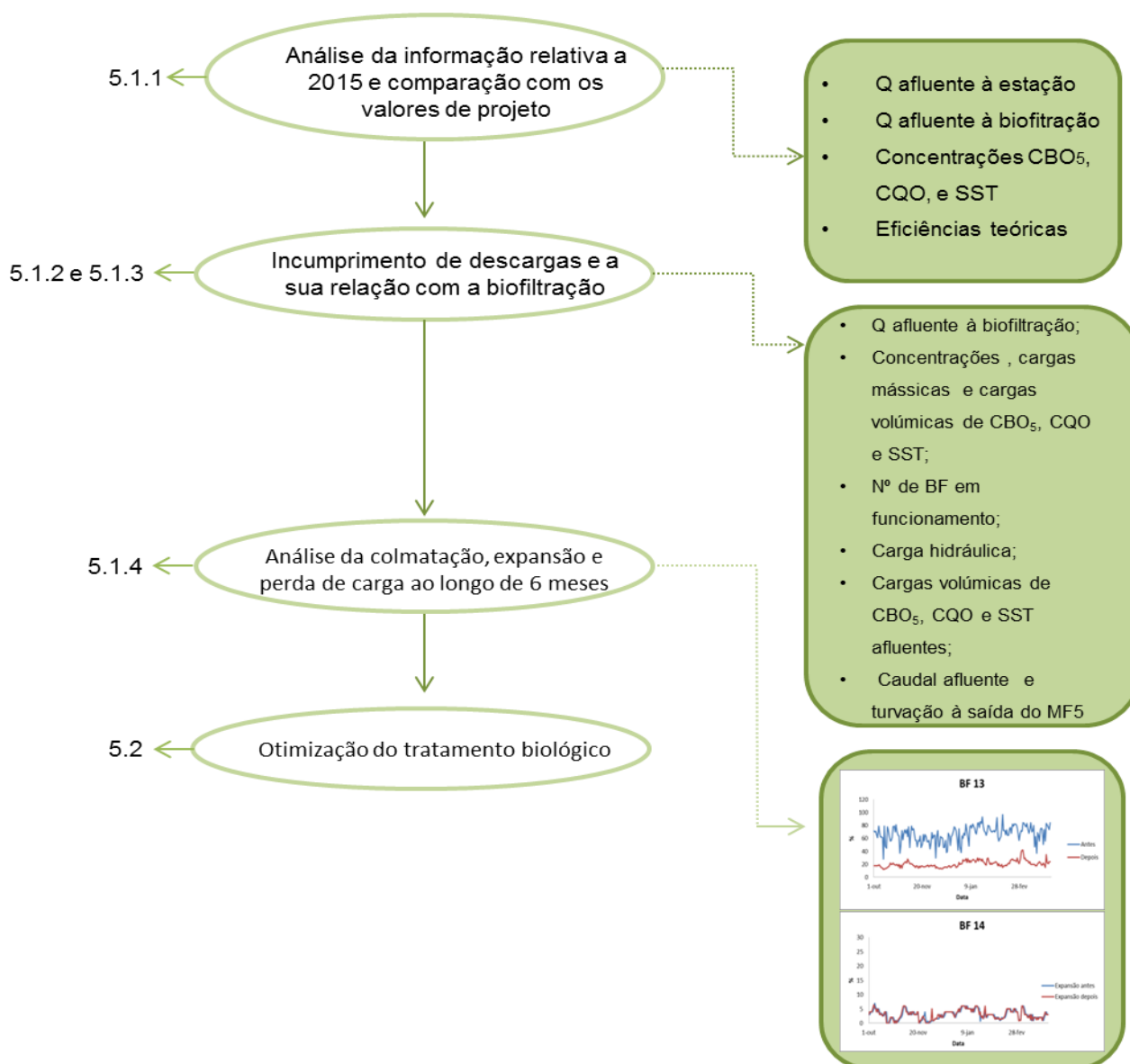


Figura 4.1. Sequência de tarefas associadas à primeira etapa

4.3. Segunda Etapa

A segunda etapa incluiu a análise mais detalhada do processo de biofiltração. Este processo sendo capaz de garantir elevadas eficiências de remoção de matéria orgânica e de sólidos é responsável por um consumo significativo de energia (associada nomeadamente aos ciclos de lavagem). Na figura seguinte apresenta-se um diagrama com as repartições de consumos da energia na ETAR de Alcântara, podendo-se constatar que a biofiltração é a segunda maior consumidora de energia (18%).

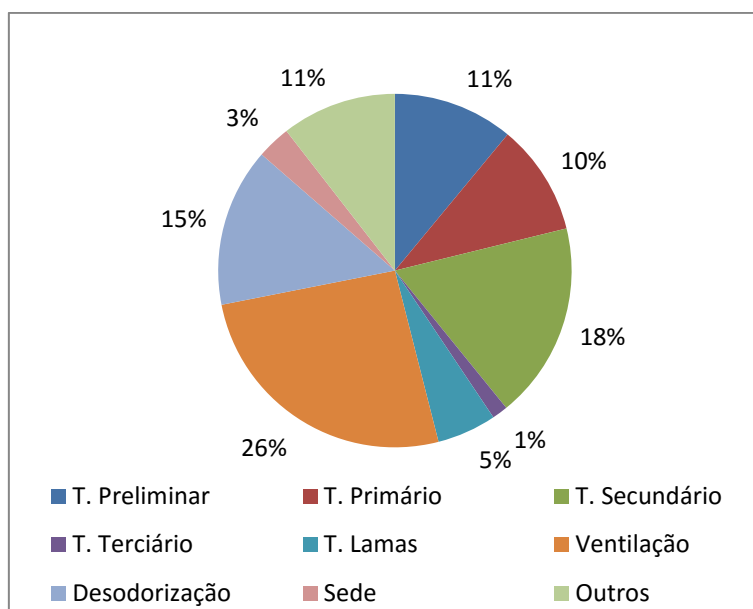


Figura 4.2. Esquema da percentagem de energia gasta na estação

Deste modo, elegeu-se uma sequência de tarefas com o objetivo de adquirir informação que permitiria propor alterações, por forma a procurar minimizar o consumo de energia no processo de biofiltração. As eventuais alterações a introduzir no seu funcionamento não poderão pôr em causa o cumprimento dos objetivos de qualidade.

Tarefa 1 – Medição da turvação no efluente tratado proveniente de cada um dos biofiltros. Medição da turvação no efluente tratado à saída da ETAR.

Objetivos – avaliar durante um período de 10 dias a turvação* à saída de cada um dos biofiltros e comparar os valores obtidos com o valor de turvação à saída da ETAR.

Materialização – Medição efetuada em cada um dos biofiltros, duas vezes por dia, sempre à mesma hora. No período da manhã a medição iniciava-se às 12.00 e da parte da tarde às 16.00. A medição da turvação no efluente tratado da ETAR era efetuada (quer no período da manhã, quer no período da tarde), após as medições à saída dos biofiltros.

Para a medição da turvação foi utilizada uma sonda portátil da Hatch Company (USA) Lange – 2012. Na figura 4.3 apresenta-se uma fotografia de uma das medições da turvação num dos biofiltros.

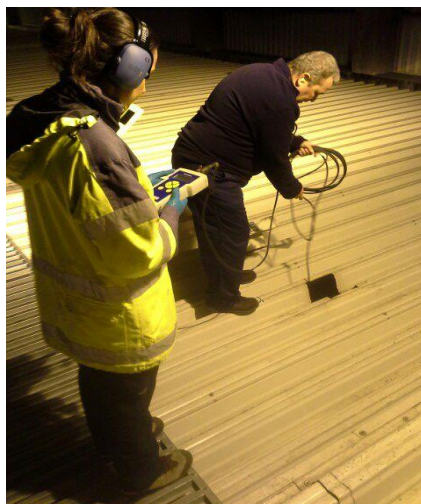


Figura 4.3. Medição da turvação nos biofiltros

* A turvação é causada pela presença de materiais em suspensão, isto é, de materiais que não estão dissolvidos no fluido, cuja presença altera as suas propriedades óticas. A turvação pode assim ser causada por uma enorme variedade de matéria em suspensão, de origem orgânica ou inorgânica, variando em dimensão desde partículas coloidais até sólidos de dimensões macroscópicas. (Ribeiro, E., 2001)

Tarefa 2 – Acompanhamento das lavagens

Objetivos – Avaliar a turvação nas diferentes fases de lavagem de cada um dos biofiltros, de modo a avaliar se existe um padrão idêntico entre elas. Será igualmente possível tirar conclusões acerca da qualidade da lavagem de cada célula e, relacionando com os valores de colmatação antes e após lavagem, perceber se o filtro está a cumprir as suas funções de tratamento.

Materialização – Acompanhamento da lavagem de cada um dos biofiltros de acordo com a hora de entrada em lavagem na matriz. Para a medição da turvação foi utilizada uma sonda portátil da Hatch Company (USA) Lange – 2012.

Tarefa 3 - Escolha de dois biofiltros padrão para acompanhamento

Após a análise das lavagens dos 15 biofiltros e tendo em conta o seu comportamento e o horário do período laboral são escolhidos dois biofiltros para avaliação durante o período de alterações a efetuar no processo de tratamento.

Tarefa 4 - Planeamento de alterações

Com base no volume de água utilizado numa lavagem, foram estudados os possíveis impactos que alterações no tempo e na velocidade de lavagem poderão originar na qualidade do efluente final.

Tarefa 5 - Alterações processuais com acompanhamento diário das lavagens de dois durante um período de 3 meses

Após o estudo de diferentes cenários, foram propostas várias alterações processuais na matriz de lavagem apresentada no capítulo dos resultados.

Objetivo – Alcançar uma redução no volume de água de lavagem, assegurando ao mesmo tempo o cumprimento dos objetivos de qualidade para o efluente final.

Segundo a matriz de lavagem de 24 horas, o biofiltro 5 entra em lavagem às 12:50 e o biofiltro 6 às 16:10. Durante este período foram acompanhadas as lavagens diariamente e registados os seus valores de turvação. Para os 22 minutos de lavagem, a turvação foi registada a cada minuto. Após esse período a turvação foi registada a cada 5 minutos e por último de 10 em 10 minutos até ao total de 120 minutos após a lavagem.

A matriz que serviu de suporte encontra-se apresentada na tabela 4.1. Os resultados obtidos e a sua análise podem ser consultados no capítulo 5.5.

Tabela 4.1. Matriz de acompanhamento de lavagens

DATA				
Tempos	Segundos	Fases	hh:mm	NTU
		Início da lavagem	16:05:00	
T0	45	Pré lavagem com água	16:06:00	
			16:07:00	
T2	180	Descompactação com ar	16:08:00	
			16:09:00	
			16:10:00	
T14	30	Pausa	16:11:00	
T1	135	Lavagem com água	16:12:00	
T2	180	Descompactação com ar	16:13:00	
			16:14:00	
			16:15:00	
T14	30	Pausa	16:16:00	
T1	135	Lavagem com água	16:17:00	
T2	180	Descompactação com ar	16:18:00	
			16:19:00	
			16:20:00	
T14	30	Pausa	16:21:00	
T3	300	Enxaguamento	16:22:00	
		Enxaguamento	16:23:00	
		Enxaguamento	16:24:00	
		Enxaguamento	16:25:00	
	1245	Enxaguamento	16:26:00	

Tarefa 6 - Análise das alterações e a sua influência na qualidade do tratamento

Para a análise das alterações foi considerado para esse período temporal os valores:

- Caudal afluente à biofiltração;
- Turvação média à saída do multiflo 1 ao 4;
- Turvação à saída do MF5;
- Turvação no efluente final;

Em simultâneo foram registados os valores de colmatção, expansão e perda de carga diariamente, a entrada ou não fora de serviço dos 15 biofiltros, bem como a ocorrência de mini-lavagens. Foi também registada a hora de entrada em lavagem (caso o filtro atinja níveis de colmatção superiores a 90% entra em mini-lavagem ou é colocado fora de serviço).

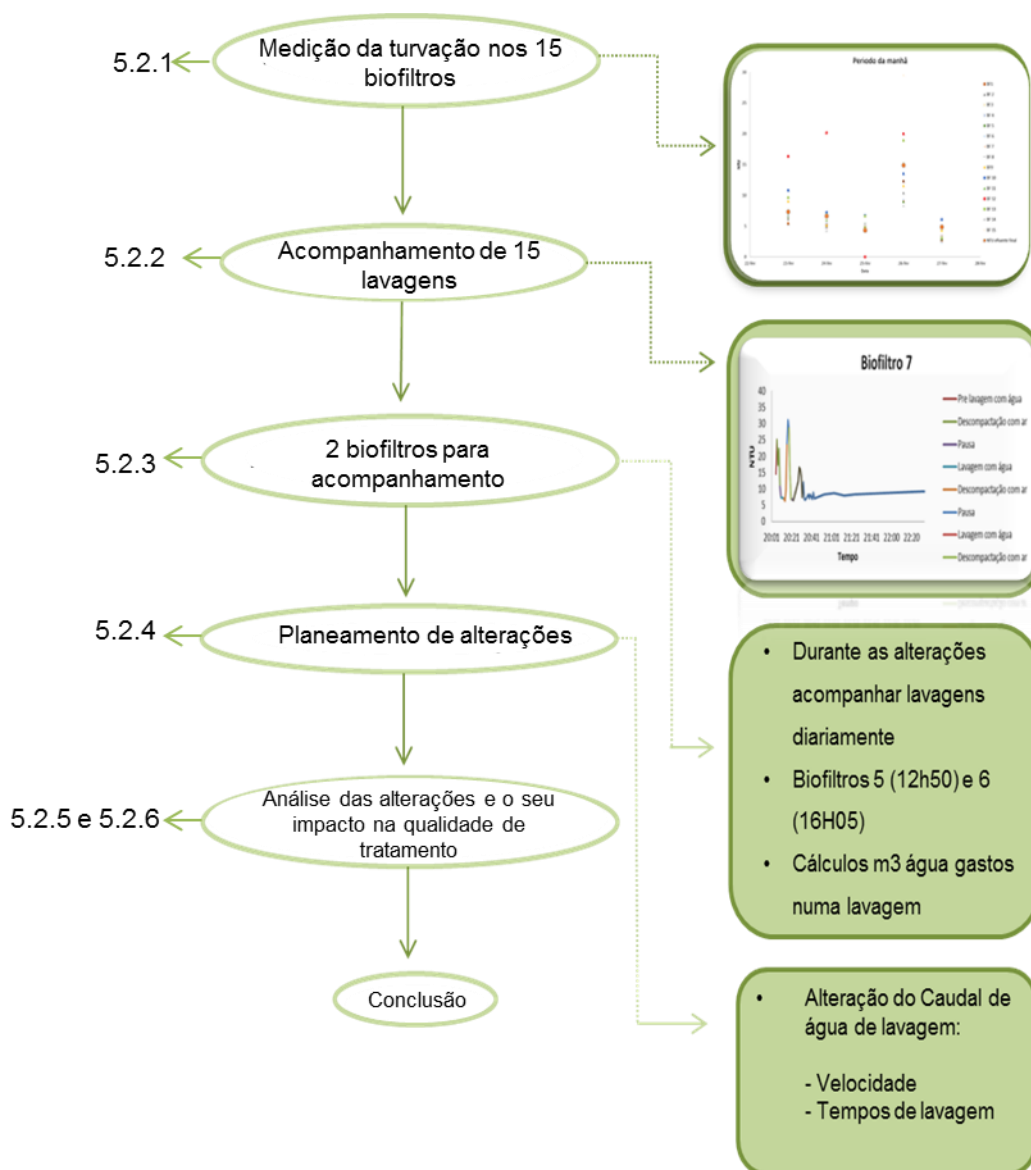


Figura 4.4. Sequência de tarefas associadas à segunda etapa

5. Análise e discussão de resultados

No presente capítulo são apresentados os resultados obtidos durante este trabalho bem como a sua análise e respetiva discussão.

5.1. Primeira etapa

5.1.1. Caracterização da biofiltração: análise das condições de afluência, eficiências de remoção, cargas volúmicas e efluente final

Na figura 5.1 apresenta-se o caudal afluente à biofiltração para o ano de 2015. Os valores médios mensais relativos ao caudal afluente ao tratamento biológico podem ser consultados na tabela A.1. do anexo A. De acordo com a informação disponibilizada pela EPAL-LVT, definem-se dois períodos, tempo seco e tempo húmido, o primeiro inclui os meses de abril a setembro e o segundo, os meses de outubro a março.

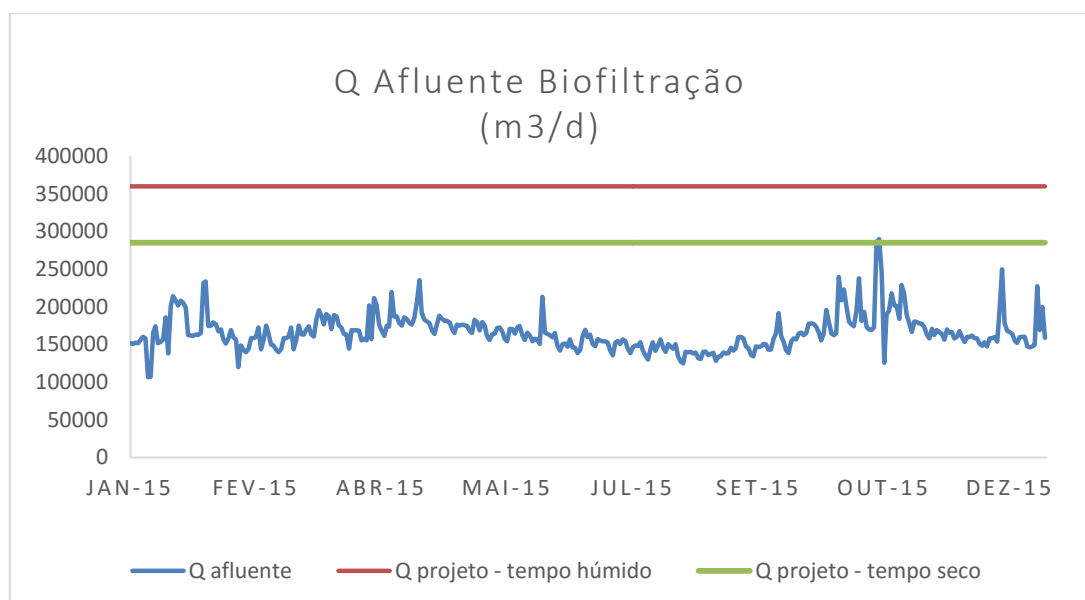


Figura 5.1. Caudal afluente à biofiltração no ano de 2015

Da análise da figura anterior, verifica-se que, para o ano de 2015, o valor de caudal máximo diário de tempo húmido nunca foi ultrapassado e que, por outro lado, o caudal máximo diário de tempo seco foi pontualmente ultrapassado. Nas tabelas 5.1 a 5.3 encontram-se apresentadas as concentrações e cargas afluentes à biofiltração, relativas aos parâmetros CBO₅, CQO e SST.

Tabela 5.1. Concentrações e cargas mensais de CBO₅ afluentes à biofiltração no ano de 2015

Concentração média CBO ₅				Carga média Afluente CBO ₅		
	Mínimo	Médio	Máximo		Mínimo	Máximo
Máximo T.H.	90			Máximo T.H.	28234	
Máximo T.S.	160			Máximo T.S.	35223	
	mg/L	mg/L	mg/L		Kg CBO ₅ /dia	
Janeiro	59	108	160	Janeiro	12281	22840
Fevereiro	100	144	230	Fevereiro	16915	34487
Março	150	183	270	Março	26939	44095
Abril	120	150	190	Abril	22910	34918
Maio	160	188	240	Maio	28031	43140
Junho	100	169	190	Junho	14667	32341
Julho	52	156	240	Julho	7945	40639
Agosto	120	155	190	Agosto	16508	26281
Setembro	80	148	190	Setembro	11711	28990
Outubro	85	134	180	Outubro	20835	28980
Novembro	85	139	180	Novembro	16017	32320
Dezembro	140	189	230	Dezembro	22232	38657

Tabela 5.2. Concentrações e cargas mensais de CQO afluentes à biofiltração no ano de 2015

Concentração média CQO Afluente				Carga média Afluente CQO		
	Mínimo	Médio	Máximo		Mínimo	Máximo
Máximo T.H.	230			Máximo T.H.	78966	
Máximo T.S.	350			Máximo T.S.	77715	
	mg/L	mg/L	mg/L		Kg CQO/dia	
Janeiro	160	238	330	Janeiro	32804	53174
Fevereiro	220	299	390	Fevereiro	37522	68193
Março	300	394	480	Março	52936	76882
Abril	250	403	460	Abril	50620	84150
Maio	300	445	530	Maio	52557	89875
Junho	380	421	450	Junho	59471	76596
Julho	360	400	530	Julho	54980	89744
Agosto	270	355	390	Agosto	37720	57102
Setembro	370	398	450	Setembro	57412	69406
Outubro	260	329	390	Outubro	49246	64581
Novembro	290	374	410	Novembro	46448	73617
Dezembro	350	435	480	Dezembro	55580	90957

Tabela 5.3. Concentrações e cargas médias de SST afluentes à biofiltração no ano de 2015

Concentração média SST Afluente				Carga orgânica média Afluente SST		
	Mínimo	Médio	Máximo		Mínimo	Máximo
Máximo T.H.	45			Máximo T.H	15306	
Máximo T.S.	100			Máximo T.S.	19068	
	mg/L	mg/L	mg/L		Kg SST/dia	
Janeiro	56	89	140	Janeiro	11656	19921
Fevereiro	100	134	160	Fevereiro	17926	26228
Março	140	181	250	Março	26240	40043
Abril	120	163	200	Abril	21952	33080
Maio	80	171	270	Maio	14015	44368
Junho	130	191	240	Junho	19067	38156
Julho	160	178	200	Julho	25089	31006
Agosto	150	184	220	Agosto	20869	33059
Setembro	190	201	220	Setembro	27814	39152
Outubro	110	170	250	Outubro	20835	34776
Novembro	120	189	230	Novembro	19220	40782
Dezembro	190	216	250	Dezembro	30046	54574

Relativamente a qualquer dos parâmetros, quer as concentrações máximas, quer as cargas máximas, relativas ao tempo húmido, encontram-se sempre acima dos valores definidos em projeto. Esta situação é igualmente válida para os valores médios relativos aos parâmetros CQO e SST. Por outro lado, o parâmetro SST parece ser o que apresenta valores mais desfavoráveis, quer em tempo seco, quer em tempo húmido.

Tendo em consideração a informação anterior, admite-se que as características qualitativas do afluente ao tratamento biológico possam ser justificadas por ineficiências do tratamento primário.

Por forma a avaliar em que medida as características qualitativas do afluente à biofiltração poderão limitar o desempenho deste processo, foram estimadas as cargas volúmicas afluentes, que se apresentam na tabela 5.4. A sua estimativa teve em consideração o número de biofiltros em funcionamento, a respetiva área unitária e altura do meio filtrante.

Tabela 5.4. Cargas volúmicas afluentes à biofiltração no ano de 2015

Carga volúmica afluente de CBO ₅ [kg CBO ₅ /m ³ .d]			Carga volúmica afluente de CQO [kg CQO/m ³ .d]			Carga volúmica afluente de SST [kg SST/m ³ .d]		
	Média	Máximo		Média	Máximo		Média	Máximo
T.H	3,0		T.H	8,0		T.H	1,5	
T.S	3,6		T.S	7,9		T.S	2,0	
Janeiro	1,5	2,2	Janeiro	3,7	5,1	Janeiro	1,2	1,9
Fevereiro	2,3	3,3	Fevereiro	4,6	6,5	Fevereiro	2,9	4,8
Março	2,8	4,2	Março	2,7	3,8	Março	2	2,5
Abril	2,6	3,9	Abril	6,4	7,5	Abril	3,5	2,7
Maio	3,0	3,8	Maio	7,0	8,0	Maio	2,7	3,9
Junho	6,4	8,5	Junho	6,4	8,5	Junho	2,9	4,2
Julho	5,5	8	Julho	5,5	8,0	Julho	2,4	2,7
Agosto	4,7	8	Agosto	4,7	8,0	Agosto	2,3	2,9
Setembro	5,6	6,1	Setembro	5,6	6,1	Setembro	2,9	3,5
Outubro	5,5	6,1	Outubro	5,5	6,1	Outubro	2,9	3,8
Novembro	5,5	6,5	Novembro	5,5	6,5	Novembro	2,7	3,6
Dezembro	6,3	8,1	Dezembro	6,3	8,1	Dezembro	3,2	4,8

Da análise dos valores da tabela anterior observa-se que relativamente à CBO₅, e com exceção dos valores médios de janeiro a abril, os restantes são sempre superiores aos valores limite de projeto, e que relativamente à CQO os valores médios são sempre inferiores aqueles valores limite. Por outro lado, os valores da CQO relativos ao tempo seco são, com exceção dos meses de abril e setembro, superiores ao valor limite e que os valores de SST, com uma única exceção, são sempre superiores aos respetivos limites.

Por forma a procurar avaliar a repercussão das cargas volúmicas afluentes à biofiltração na eficiência desta etapa de tratamento, apresenta-se, na tabela seguinte, as eficiências do processo de biofiltração, de acordo com o respetivo projeto, para tempo seco e para tempo húmido e, também, as eficiências obtidas para o ano de 2015, igualmente em tempo seco e em tempo húmido. Por outro lado, na tabela 5.5 são apresentadas as eficiências médias mensais dos parâmetros CBO₅, CQO e SST no efluente final.

Tabela 5.5. Eficiências de remoção teórica (a) e eficiência de remoção real b)

Eficiência de remoção teórica		
CBO ₅	CQO	SST
[%]	[%]	[%]
Tempo Seco		
85	79	77
Tempo Húmido		
76	73	56

a)

Eficiência de remoção real		
CBO ₅	CQO	SST
[%]	[%]	[%]
Tempo Seco		
90	80	85
Tempo Húmido		
90	81	86

b)

Da análise da tabela 5.5, pode constatar-se que por um lado as eficiências obtidas são sempre superiores às eficiências teóricas e que, por outro lado, não ocorrem variações significativas entre as condições de tempo seco e de tempo húmido. Deste modo, parece que, apesar das condições de afluência aos biofiltros serem superiores às previstas, o processo não parece ser penalizado, garantindo-se eficiências de remoção bastante significativas. Este aspeto é corroborado pelos valores das concentrações médias no efluente tratado (tabela 5.6).

Tabela 5.6. Concentrações médias do efluente final no ano de 2015

	Concentrações médias do efluente final		
	CBO ₅	CQO	SST
Valores máximos teóricos	25	125	35
Unidade	mg/L	mg/L	mg/L
Janeiro	12	60	19
Fevereiro	12	56	15
Março	18	77	25
Abril	11	73	27
Maio	18	87	34
Junho	20	87	32
Julho	14	73	27
Agosto	12	62	22
Setembro	14	80	23
Outubro	12	65	25
Novembro	14	69	24
Dezembro	17	63	26

Nas figuras 5.2 a 5.4 são apresentadas as eficiências médias de remoção da CBO_5 , CQO e SST ao longo do ano de 2015, o que permite uma melhor percepção do comportamento dos biofiltros ao longo do tempo, para os vários parâmetros em análise.

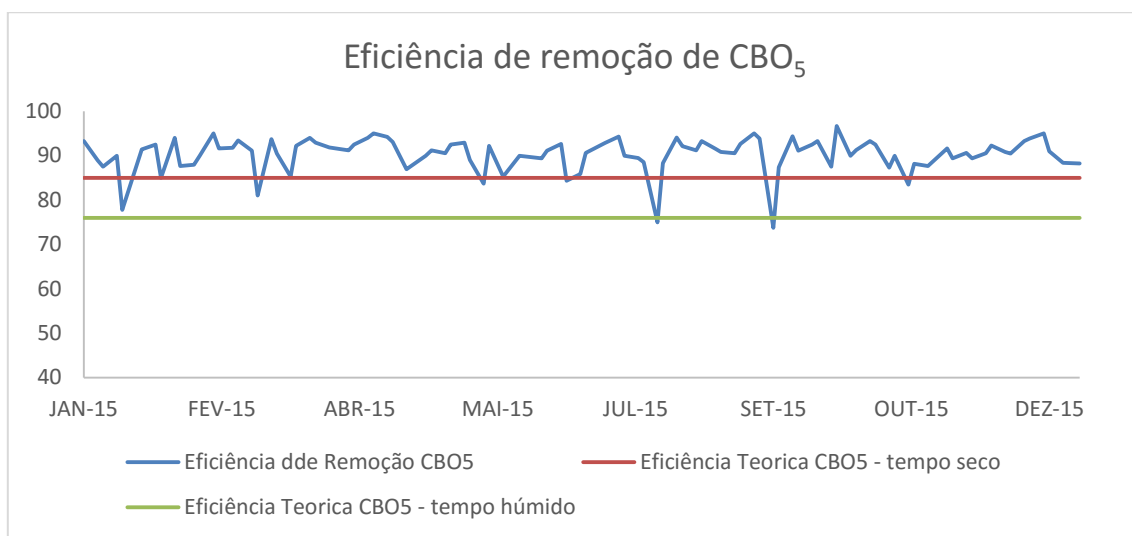


Figura 5.2. Eficiência de Remoção de CBO_5

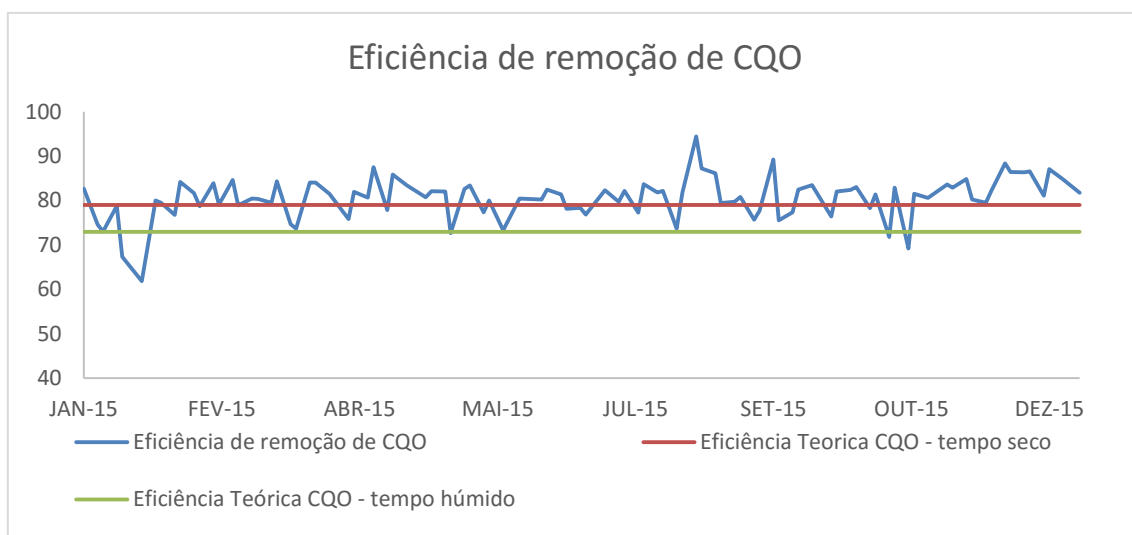


Figura 5.3. Eficiência de Remoção de CQO

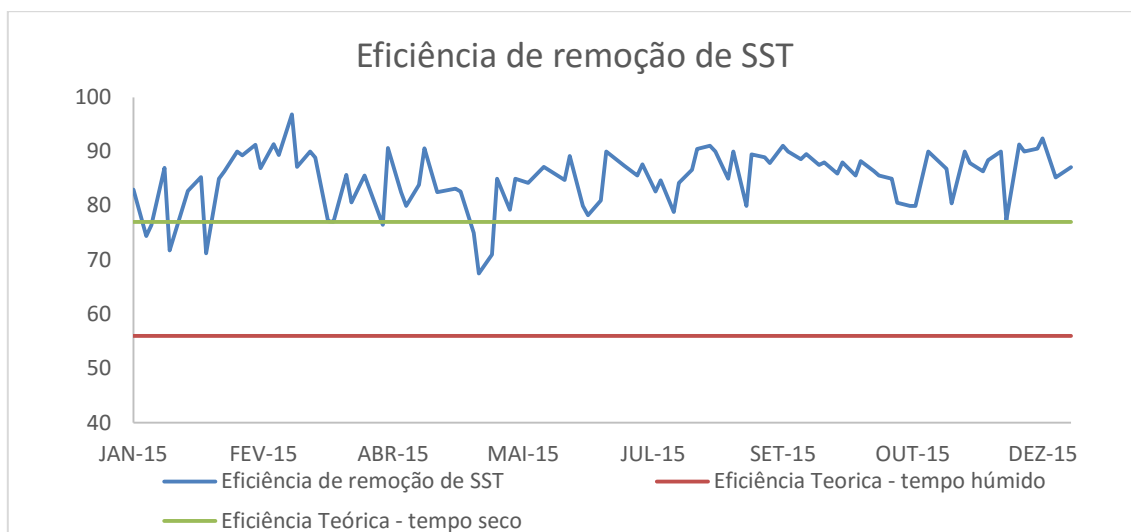


Figura 5.4. Eficiência de Remoção de SST

5.1.2. Incumprimentos de descarga e a sua relação com a biofiltração

5.1.2.1. Análise dos principais operacionais


Na tabela 5.5 apresentam-se discriminados os dias em que foram registados incumprimentos de descarga relativos ao ano de 2015, bem como os parâmetros utilizados para esta análise.

Nos dias em que não foram cumpridos os requisitos de descarga do efluente final observou-se que esses incumprimentos se deviam, maioritariamente, à concentração de sólidos à saída. Observou-se também que a concentração de SST afluente estava acima do valor máximo admissível à biofiltração, o que se poderá traduzir num problema decorrente do tratamento primário ou espessamento gravítico de lamas.

Tabela 5.5. Dias com registo de incumprimentos de descarga relativos ao ano de 2015

Data	Q Afluente ETAR	Q Afluente MF5	Q Total Afluente Biofiltração	Carga volumica	Carga volumica	Carga volumica	Carga mássica afluente CBO5	Carga mássica afluente CQO	Carga mássica afluente SST	Carga Hidraulica - Q Médio	Altura meio filtrante	nº biofiltros em serviço	SST	CQO	CBO5	SST	CQO	CBO5
													Afluência			Efluente de saída		
	[m3/dia]	[m3/dia]	[m3/dia]	[kgCBO/m3.d]	[kgCQO/m3.d]	[kgSSTm3.d]	[kgCBO5/dia]	[kgCQO/dia]	[kg SST/dia]	[m³/m².h]	h	nº	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]
Máximo	570240	50400	360000	T.H. 3	T.H. 8	T.H. 1,5	T.H. 28234	T.H 78966	T.H 15306	6,0	3,5	15	100	350	160	35	125	25
				T.S. 3,6	T.S. 7,9	T.S. 2,0	T.S 35223	T.S 77715	T.S 19068									
05-mar	117443	50347	160171	3	7	4	30432	76882	40043	2,22	3,5	14	250	480	190	32	94	36
19-mar	143425	50306	176453	3	5	3	31762	52936	29997	2,28	3,5	15	170	300	180	39	79	14
07-abr	134748	49997	156954	2	6	3	26682	64351	31391	2,03	3,5	15	200	410	170	47	99	15
12-mai	135667	46305	175047	3	7	2	31508	77021	28008	2,26	3,5	15	160	440	180	40	79	17
26-mai	130385	43995	164326	3	8	4	31222	87093	44368	2,12	3,5	15	270	530	190	56	120	31
02-jun	133260	45321	170214	3	7	3	32341	76596	32341	2,36	3,5	14	190	450	190	30	120	28
25-jun	129129	35885	156502	2	5	2	25040	59471	26605	2,02	3,5	15	170	380	160	37	83	25
30-jun	130572	33775	161156	2	6	3	27397	69297	33843	2,08	3,5	15	210	430	170	40	93	24
28-jul	123218	36511	152786	1	5	2	7945	58059	25974	1,97	3,5	15	170	380	52	36	69	13
12-nov	142154	45227	177312	3	6	4	30143	72698	40782	2,29	3,5	15	230	410	170	45	70	18
03-dez	121104	45175	158136	3	6	3	34790	71161	30046	2,04	3,5	15	190	450	220	43	61	21

Legenda:

 Valores acima do definido em projet

Como referido no capítulo 4 (Metodologia), por forma a procurar-se avaliar se os incumprimentos poderiam estar relacionados com algum problema decorrente do tratamento biológico, foram analisadas igualmente as cargas volúmicas de CBO₅, CQO e SST afluentes, bem como as cargas hidráulicas, tendo em conta o número de biofiltros em serviço (a um menor número de biofiltros corresponde um menor volume de reação). No entanto, da análise da figura 5.5, não se encontra uma relação direta entre número de biofiltros em funcionamento e o não cumprimento da concentração à saída, uma vez que é um acontecimento recorrente a estação operar com 14 biofiltros (o número total de biofiltros é de 15). A mesma conclusão foi verificada relativamente à carga hidráulica.

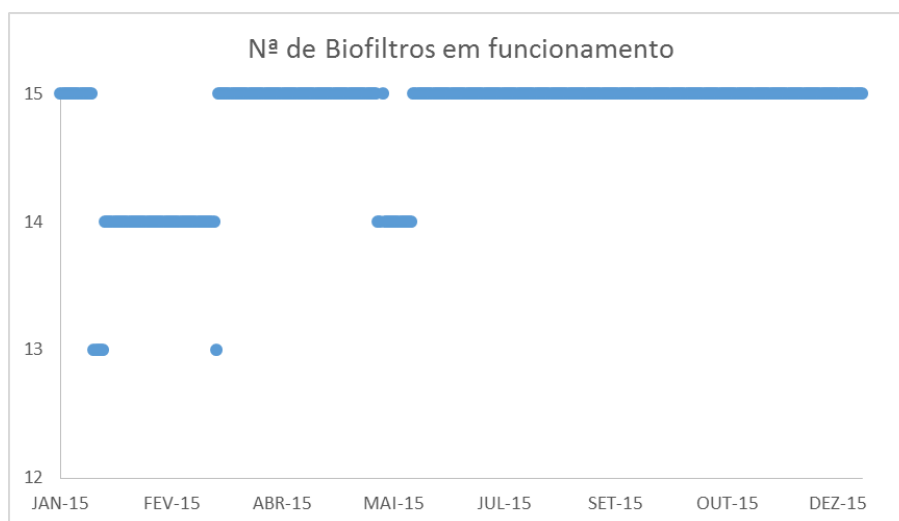


Figura 5.5. Número de biofiltros em funcionamento – ano 2015

Importa igualmente referir que a velocidade de lavagem pode determinar igualmente ineficiências do processo (os valores das velocidades de lavagem não são apresentados na tabela 5.5). Com velocidades de lavagem muito baixas a desagregação do biofilme do meio filtrante pode não ser suficiente e, por outro lado, se aquela for muito elevada, para além de danificar o meio filtrante e potenciar a sua fuga para o efluente tratado, pode igualmente provocar o desagregamento de mais biofilme que o pretendido.

Desta forma, as condições ótimas para o desenvolvimento da próxima flora microbiana sofrem alterações, podendo provocar um aumento da concentração de sólidos em suspensão resultando numa lavagem menos eficiente. No entanto os incumprimentos não parece terem resultado da variação da velocidade de lavagem pois ao longo do ano a faixa de valores utilizada é muito idêntica.

5.1.3. Estudo da turvação do MF5

A turvação máxima aceitável à saída do MF5 (espessador) deverá ser inferior a 160 NTU, para que o tratamento não seja comprometido. No caso deste valor ser ultrapassado é provável que o efluente tratado não cumpra os objetivos de qualidade definidos na licença de descarga.

De facto, verifica-se que os incumprimentos que ocorreram em cinco dos onze dias se deveram a um aumento de turvação à saída do espessador. Os aspetos operacionais que poderão justificar o aumento da turvação à saída do MF5, incluem: doseamento inadequado de reagentes; ocorrência de mini-lavagens na biofiltração, pois o espessador está preparado para receber as lamas provenientes do tanque de água de lavagem, mas não de lavagens não programadas; e pelos retornos da lama proveniente da desidratação que se forem elevados provocam um aumento de turvação pontual.

Na figura 5.6 apresentam-se os valores de turvação à saída do MF5, nos dias em que o objetivo de qualidade não foi cumprido.

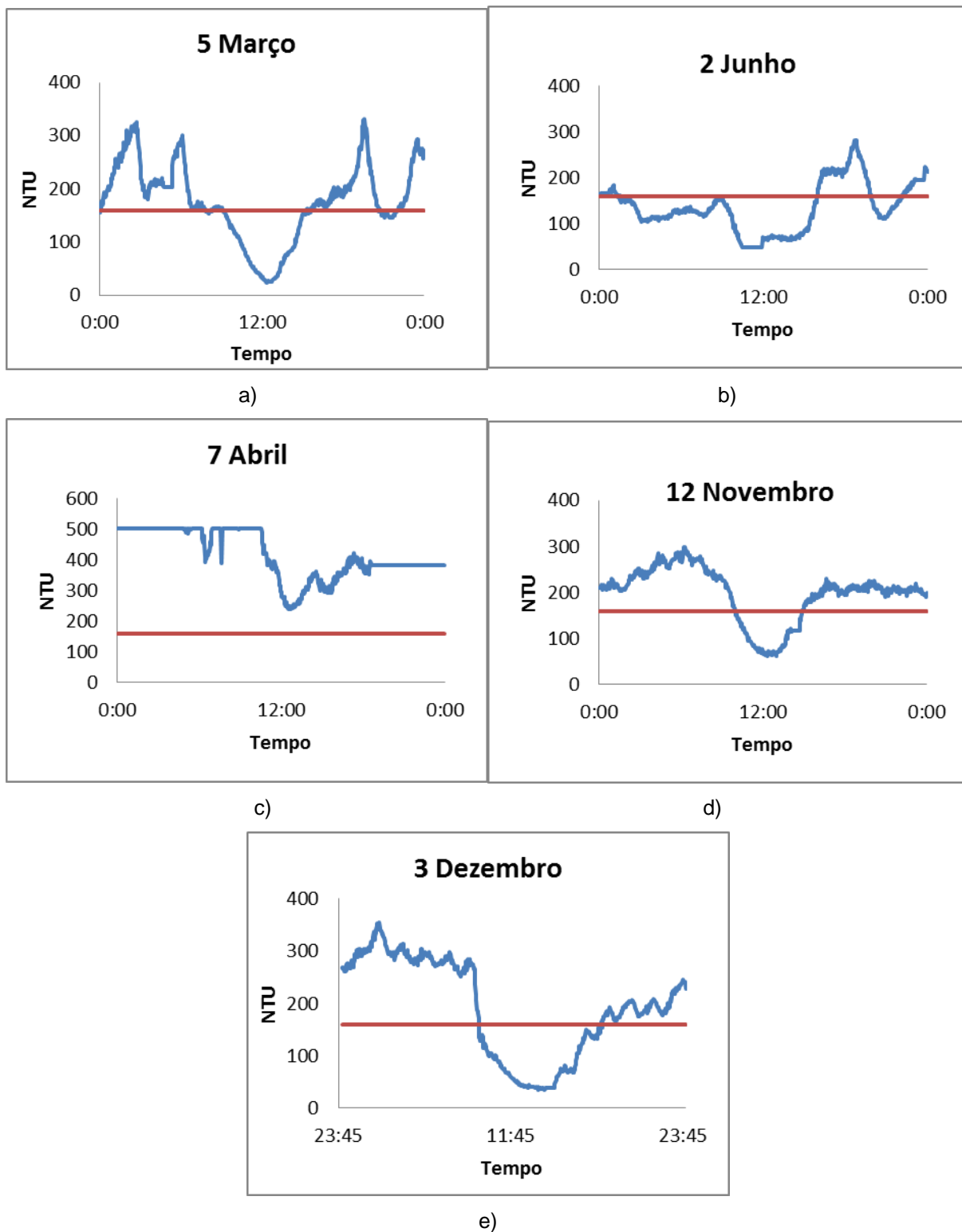


Figura 5.6. Valores de turvação à saída do MF5, nos dias em que o objetivo de qualidade não foi cumprido (a, b, c, d, e) *A vermelho - Valores limite de 160NTU

Da análise da figura anterior, verifica-se que os valores de turvação à saída do MF5 foram superiores a 160 NTU numa parte significativa de cada um dos dias.

Para os restantes seis dias, os incumprimentos foram associados a problemas decorrentes do tratamento biológico, admitindo-se que as causas mais prováveis incluam: fuga de meio filtrante para o efluente tratado o que se traduz numa redução da altura do meio filtrante; uma lavagem anterior de uma das células não ter sido eficiente e o nível de colmatção, perda de carga e expansão do filtro não iniciaram um novo ciclo com os valores expectáveis após lavagem (20-25%), levando a que antes de se completar as 24 horas os filtros colmatassem (70-90%).

5.1.4. Evolução da colmatção e da expansão num período de 6 meses

5.1.4.1. Colmatção

Os resultados relativos à colmatção e expansão dos 15 biofiltros encontram-se disponíveis no anexo B (variação da colmatção antes e após lavagem para os 15 biofiltros) e C (variação da expansão antes e após lavagem para os 15 biofiltros), tendo-se optado por caracterizar neste capítulo um biofiltro cuja variação daqueles parâmetros tenha seguido o padrão expectável, antes e após lavagem, e de um biofiltro em que aquela variação tenha sido atípica.

Nas figuras 5.7 e 5.8 são apresentadas as variações de colmatção antes e após o ciclo de lavagem nas duas situações anteriormente referidas.

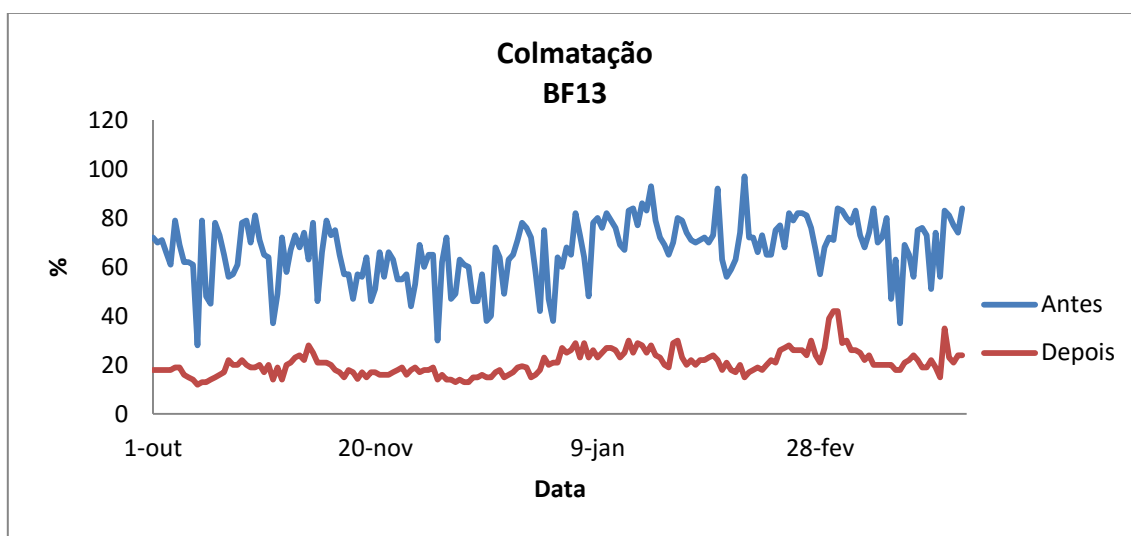


Figura 5.7. Variação da colmatção antes e após lavagem de um biofiltro com comportamento expectável

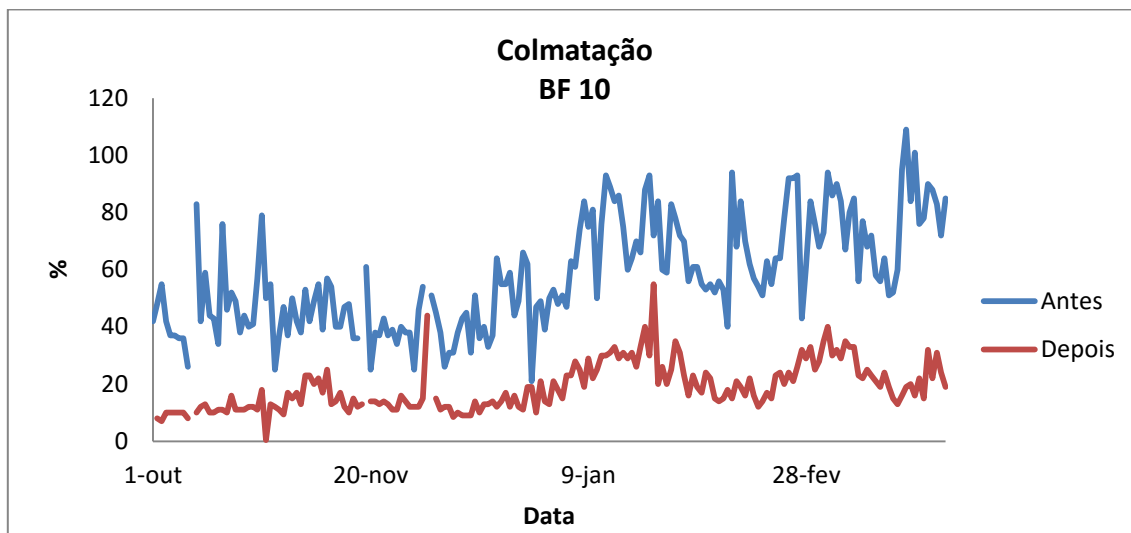


Figura 5.8. Variação da Colmatação antes e após lavagem de um biofiltro com comportamento atípico

Importa referir que, por erros associados à instrumentação, os valores de colmatação excedem, por vezes, o valor de 100% (como se pode verificar na figura 5.8), o que não é justificável.

Da análise dos resultados para os 15 biofiltros observa-se que o comportamento padrão da colmatação varia entre os 70 - 90%, antes de se entrar em lavagem, e que após a mesma sofre uma redução para os 20%. Se os valores nos instantes anteriores à lavagem estiverem abaixo dessa faixa, deverá ter ocorrido uma mini-lavagem ou, então, a programação de lavagem do filtro não é a mais correta e deverá ser otimizada.

Valores de colmatação superiores a 90% antes do ciclo de lavagem, podem estar associados ao constante crescimento de biomassa e à matéria em suspensão que, ao longo do ciclo de 24 horas, vai sedimentando ou associado a uma lavagem menos eficiente. A presença de bolhas de ar e de partículas desfragmentadas que se desagregam do meio filtrante, podem potenciar a formação de volumes mortos que constituem pontos de resistência ao escoamento, podendo contribuir para a colmatação progressiva do filtro e para o aumento da perda de carga. Esta situação pode então levar a valores elevados de colmatação antes da hora prevista para o início do ciclo de lavagem.

Tendo em conta estes fatores, e após uma análise ponderada da figura 5.7 e 5.8, verifica-se que o biofiltro 13 apresenta, de uma forma geral, um comportamento expectável com pequenos picos abaixo dos valores padrão antes de entrar em lavagem. Por outro lado, o biofiltro 10 inicia recorrentemente o seu ciclo de lavagem ou com percentagens abaixo dos 60% ou superiores a 90% indicando um mau desempenho do biofiltro. Estes picos estão associados à ocorrência de mini-lavagens nesses dias, que levaram a uma redução do nível de colmatação imediatamente antes de entrar em lavagem.

Na tabela 5.6 apresenta-se um resumo dos biofiltros que após a análise da variação da colmatção ao longo de 6 meses se comportaram como tendo variação dentro e fora dos padrões expectáveis (70-90% antes da lavagem).

Tabela 5.6. Resumo da variação das colmatções do sistema de biofiltração

Variação da colmatção	Biofiltros
Expectável	1, 3, 4, 5, 6, 11, 12, 13, 14, 15
Atípico	2, 7, 8, 9, 10

5.1.4.1 Expansão

De acordo com o manual de Instruções de Funcionamento do tratamento secundário da ETAR, durante a lavagem o meio filtrante pode expandir-se entre 5 e 30%. Acima deste valor aumenta a probabilidade de haver perda de meio filtrante para o efluente tratado impedindo o filtro de continuar a executar a sua função.

Quanto à variação da expansão do meio filtrante, seria expectável que houvesse uma relação direta entre os biofiltros que apresentam maior variação no seu ciclo de lavagem, pela análise das colmatções, e aqueles que apresentam uma expansão anormal do meio filtrante. No entanto comparando as variações destes dois parâmetros em cada um dos biofiltros, constata-se que estes valores não apresentam relação direta. Nas figuras 5.9 e 5.10 apresentam-se igualmente um exemplo de um biofiltro com valores de expansão expectáveis e um biofiltro com valores de expansão atípicos, o que aponta para um grande défice de meio filtrante.

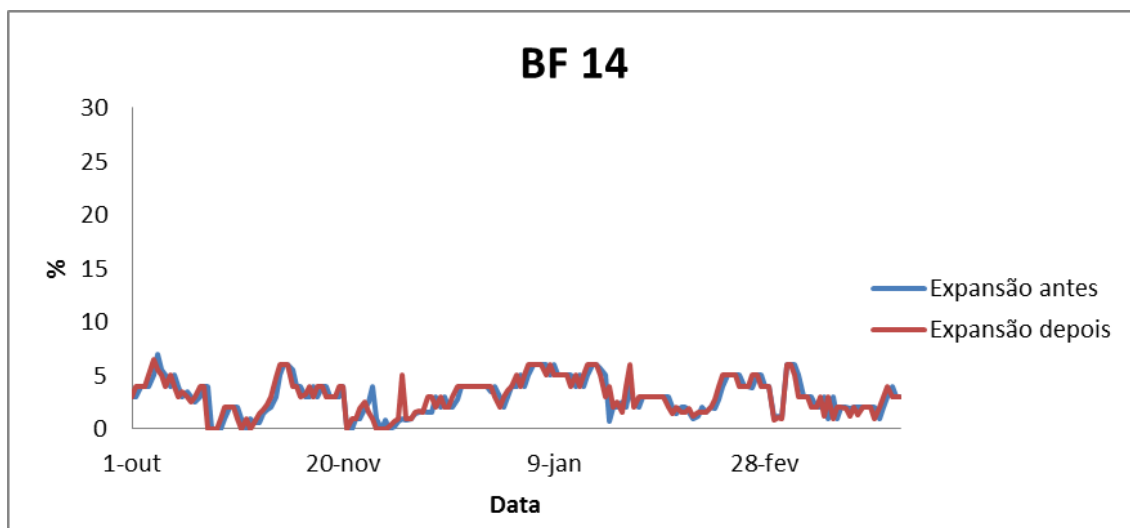


Figura 5.9. Variação da expansão antes e após lavagem de um biofiltro com comportamento expectável

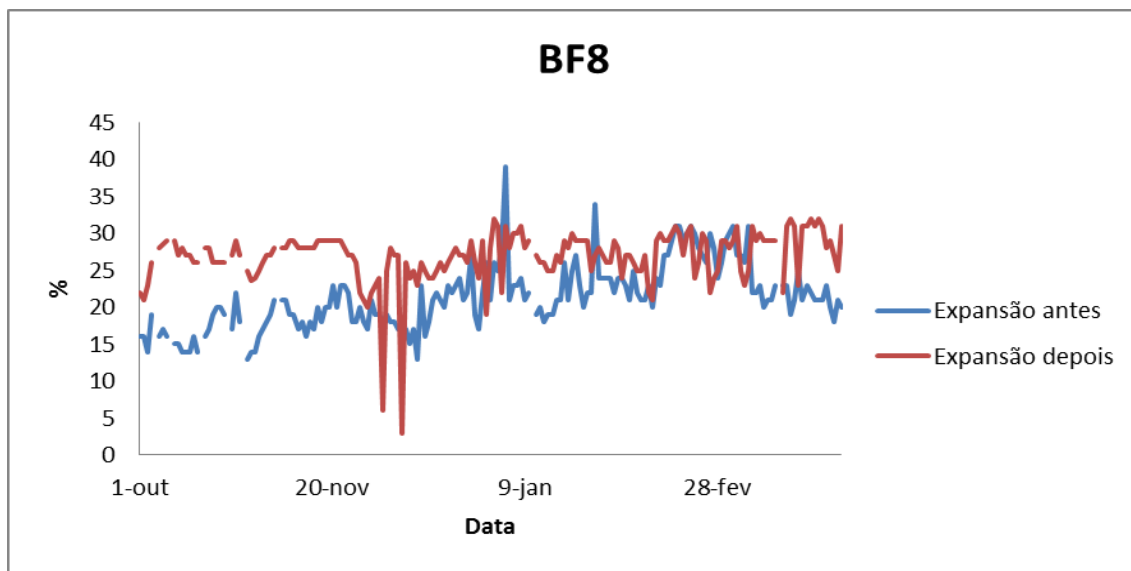


Figura 5.10. Variação de expansão antes e após lavagem de um biofiltro com comportamento atípico

Na tabela 5.7 apresenta-se um resumo dos biofiltros que após a análise da variação da expansão ao longo de 6 meses se comportaram como tendo variação dentro e fora dos padrões expectáveis.

Tabela 5.7. Resumo da variação da expansão do sistema de biofiltração

Expansão do meio filtrante	Biofiltros
Expectável	2, 4, 5, 9, 12, 13, 14, 15
Atípico	7, 8, 10, 11

5.2. Segunda etapa

5.2.1. Medição da turvação nos 15 biofiltros a horas específicas do dia: 12h00 e 16H00

De acordo com os valores de projeto são aceitáveis valores de turvação até 20 NTU para o efluente tratado. Os resultados mostram uma tendência para a turvação variar entre os 8 e os 12 NTU sendo ligeiramente mais elevada para os períodos da tarde (12 NTU). A matriz que serviu de suporte para esta etapa encontra-se disponível para consulta, como referido na metodologia, no anexo D1 bem como a tabela com os valores discriminados no anexo D2. Nas figuras 5.11 a 5.13 apresenta-se, respetivamente, a variação da turvação no efluente tratado para nos períodos da manhã (12:00) e da tarde (16:00) (figura 5.11), bem como a variação da turvação de saída intercetada com a turvação à saída de cada biofiltro (figuras 5.12 e 5.13).

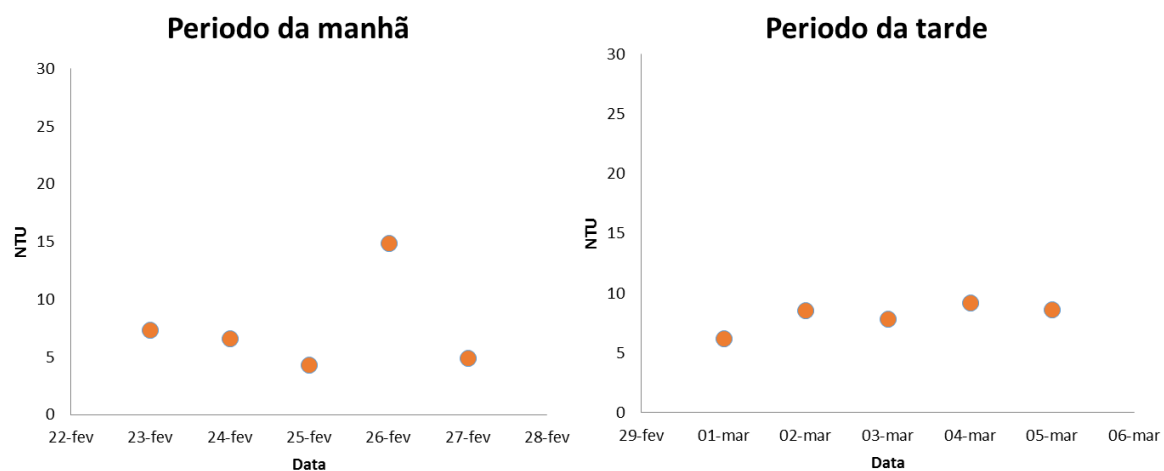


Figura 5.11. Variação da turvação de saída em linha

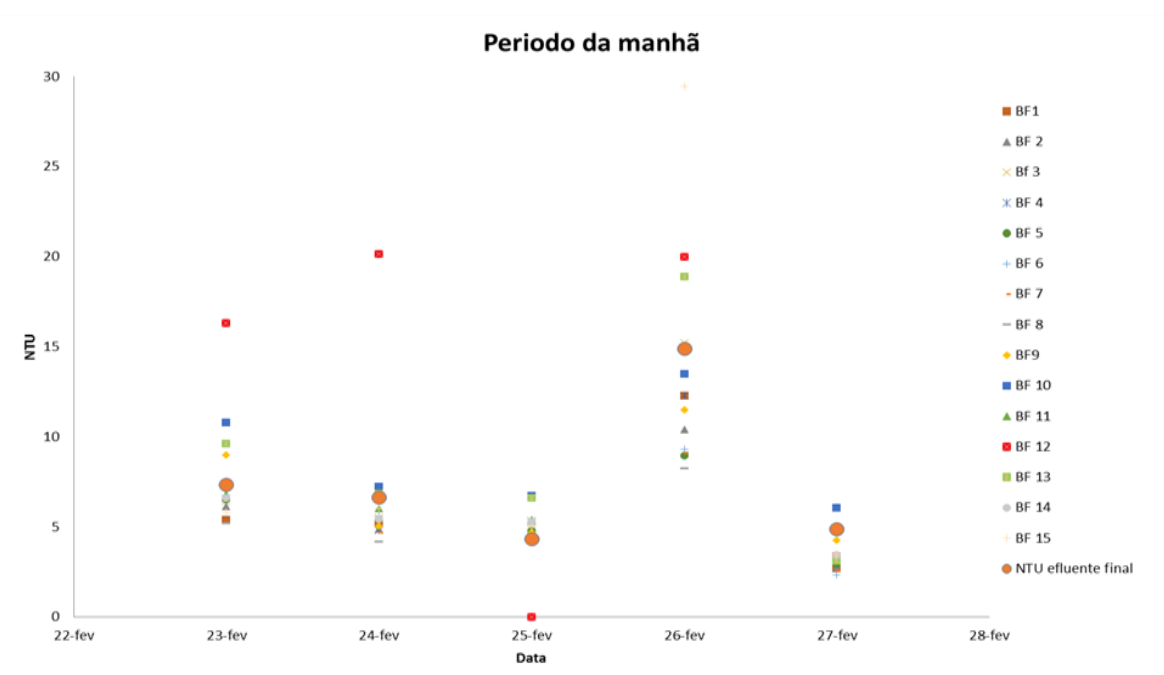


Figura 5.12. Variação da turvação de saída para o período da manhã interceptada com a turvação em cada biofiltro



Figura 5.13. Variação da turbidez de saída para o período da tarde interceptada com a turbidez em cada biofiltro













Da análise dos valores de turbidez para os 15 biofiltros (figuras 5.12 e 5.13), verificou-se uma proximidade com o valor de turbidez do efluente final (figura 5.11). Quanto aos *outliers* observados, tem-se que para o período da manhã, do dia 2 de março, os biofiltros 12 e 13 registaram valores de turbidez muito elevados quando comparados com os restantes biofiltros. O mesmo se verificou para o biofiltro 14 para o período da tarde. Após a análise das condições de afluência à estação nesse dia, estes valores poderão ser justificados pela proximidade da hora de lavagem destes biofiltros o que se traduz em níveis de colmatação elevados dos mesmos.

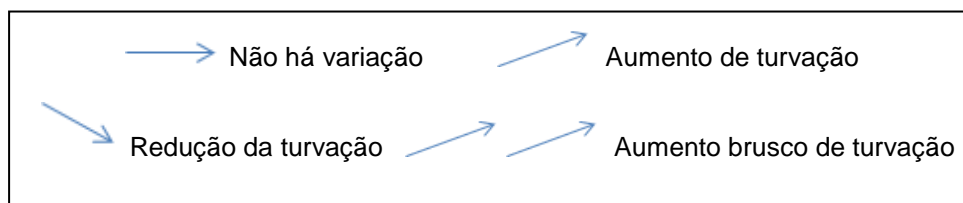
5.2.2. Acompanhamento das lavagens

Apesar de cada biofiltro poder apresentar um comportamento particular, a análise do acompanhamento das lavagens permitiu encontrar um padrão. A turbidez antes de se iniciar a lavagem varia, para as 15 células, entre os 9 e os 12 NTU (turbidez no efluente tratado). No entanto, durante a lavagem atinge valores muito superiores provocados pela descompactação com ar, o qual é responsável pelo “descascamento” do biofilme do meio filtrante, e pela injeção de água, o que poderá ter impactes na qualidade do efluente tratado. No entanto, face ao afeito de diluição que decorre da mistura de um caudal relativamente reduzido com o efluente tratado proveniente dos restantes biofiltros, a lavagem não potencia a deterioração da qualidade do efluente. De uma forma geral, a turbidez acaba por estabilizar 90 minutos após lavagem para valores entre 8 e 10 NTU. De salientar, que, o maior pico de turbidez verifica-se durante o primeiro ciclo na segunda fase de descompactação com ar.

Na tabela em baixo apresenta-se a variação da turbidez durante as fases da lavagem. Os gráficos que suportam as lavagens dos 15 biofiltros podem ser consultados no anexo E1, sendo que neste capítulo se optou por apresentar dois exemplos de lavagens padrão e dois exemplos de lavagens atípicas.

Tabela 5.8. Resumo da variação da turvação ao longo de um ciclo de lavagem

Fases	Variação da turvação
Pré-lavagem com água	
Descompactação com ar	
Pausa	
Lavagem com água	
Descompactação com ar	
Pausa	
Lavagem com água	
Descompactação com ar	
Pausa	
Enxaguamento	
Concluídos 90 min	
Após Lavagem	



O biofiltro 7 e o biofiltro 10 inserem-se no conjunto de biofiltros que apresentam uma variação da turvação, ao longo do ciclo de lavagem, de acordo com o expectável, e em que são visíveis os picos de turvação associados às fases alternadas de descompactação com ar e lavagem com água apresentando também tendência para estabilizar ao longo do tempo. Nas figuras 5.14 e 5.15 apresenta-se, dois biofiltros que aparentam ter lavagens com os valores de turvação dentro do padrão.

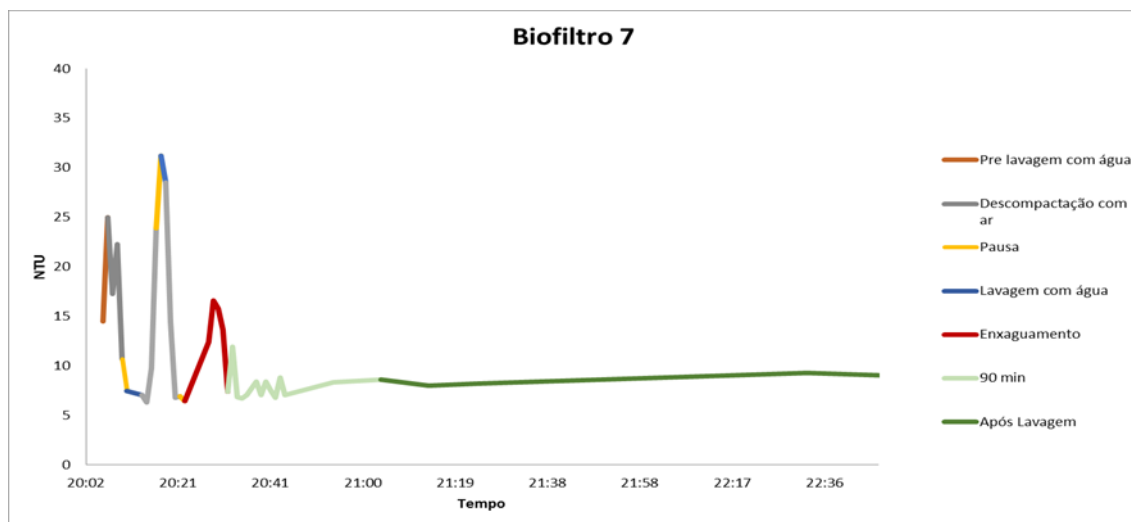


Figura 5.14. Representação de uma lavagem padrão – biofiltro 7

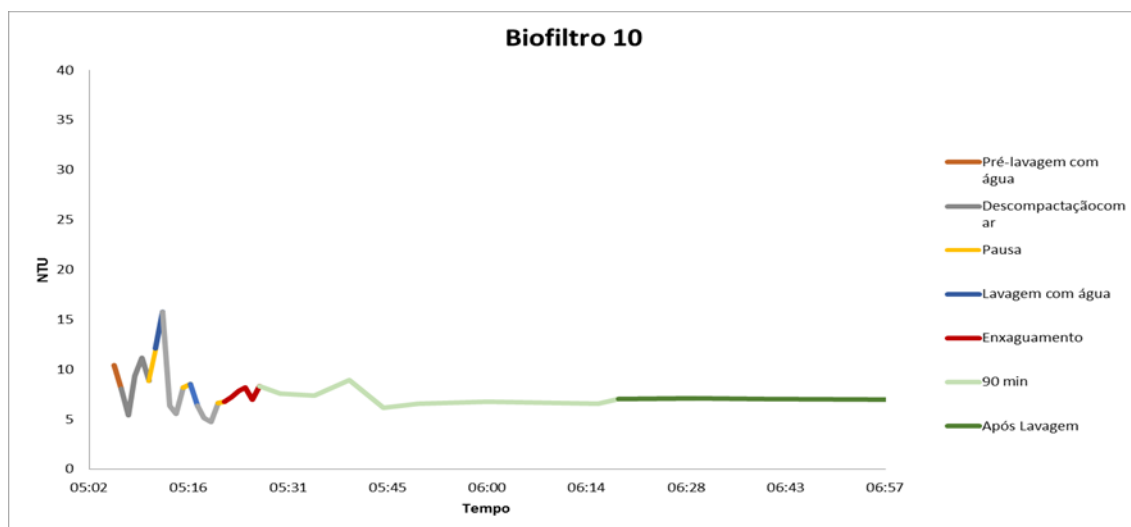


Figura 5.15. Representação de uma lavagem padrão – biofiltro 10

O biofiltro 12 e o biofiltro 15 inserem-se no conjunto de biofiltros que apresentam uma variação atípica da turvação, ao longo do ciclo de lavagem. Nas figuras 5.16 e 5.17 encontram-se representadas duas lavagens que aparentam ter valores atípicos de turvação.

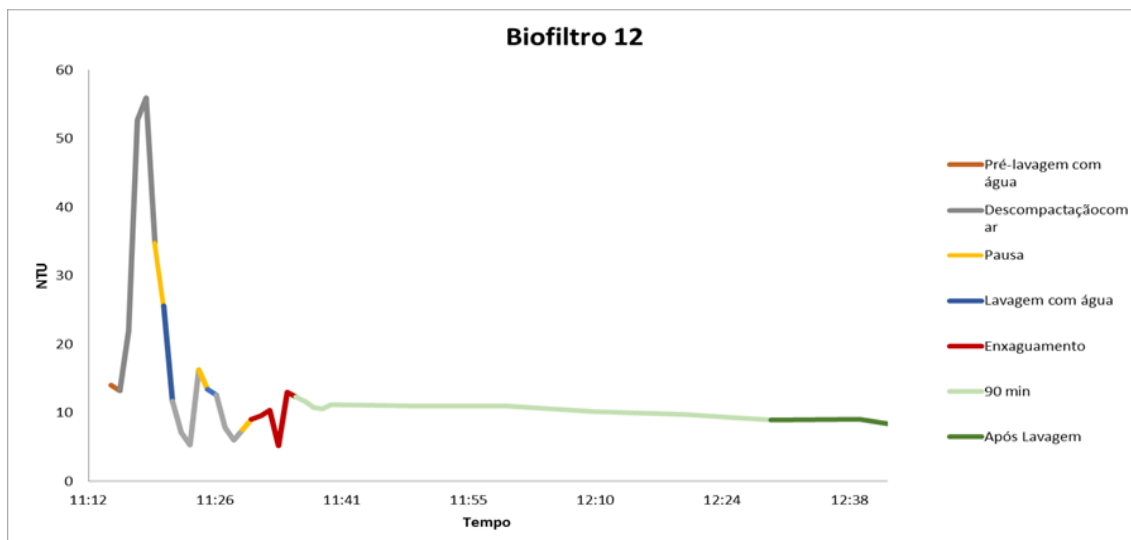


Figura 5.16. Representação de uma lavagem com valores atípicos de turvação – biofiltro 12

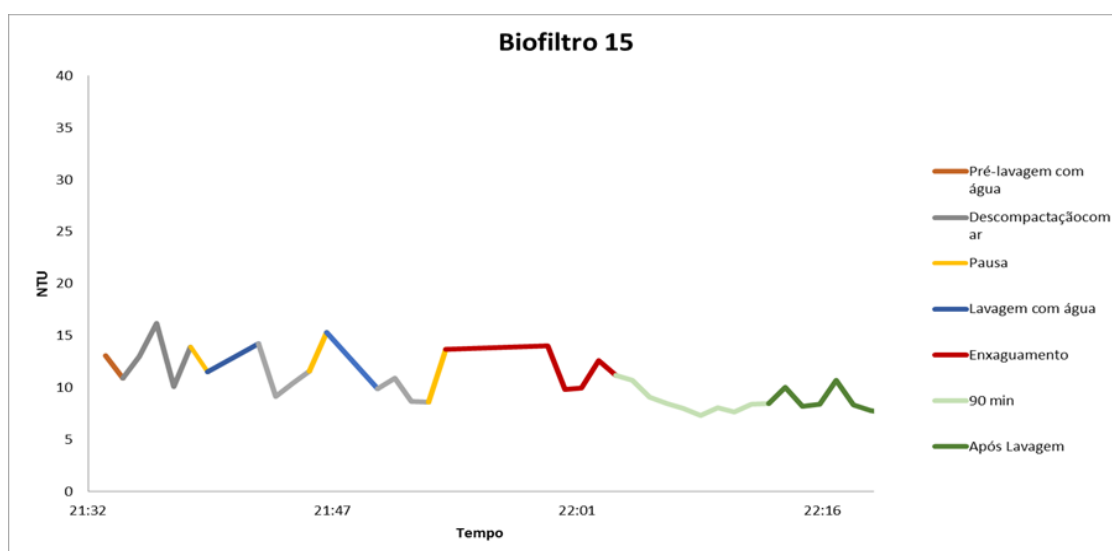


Figura 5.17. Representação de uma lavagem com valores atípicos de turvação – biofiltro 15

No biofiltro 12, verificou-se um pico máximo de turvação que coincidiu com a primeira fase de descompactação com ar, com um valor de 60 NTU. Este pico foi justificado após a verificação do nível de colmatação do filtro, pois neste dia antes de iniciar a lavagem, o biofiltro apresentava um valor de colmatação de 97%. Iniciando-se a lavagem seria então de se esperar que, devido à quantidade de matéria em suspensão presente, a turvação inicial fosse assim superior aos valores normais.

Da lavagem do biofiltro 15 destaca-se que a turvação ao longo de 90 minutos situa-se sempre entre os 10 e os 15 NTU. Ponderou-se inicialmente se esta variação estaria relacionada com algum problema decorrente de uma anomalia num dos compressores de ar. No entanto após a análise do caudal de ar para esse dia, não foi verificada uma relação direta, ficando a indicação para um acompanhamento mais rigoroso deste reator.

Na tabela 5.9 apresenta-se um resumo dos biofiltros que após a análise dos seus ciclos de lavagem ao longo de 6 meses se comportaram como tendo variação dentro e fora dos padrões expectáveis.

Tabela 5.9. Classificação dos biofiltros segundo o seu comportamento

Lavagens expectáveis	1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 13
Lavagens atípicas	3, 11, 12, 14, 15

5.2.3. Escolha de dois biofiltros padrão para acompanhamento

Como referido no capítulo 4.2, tendo em conta a hora de lavagem imposta na matriz e, por forma a coincidir com o período laboral, foram escolhidos os biofiltros 5 e 6, para acompanhamento diário dos ciclos de lavagem. Como se pode observar pelas figuras 5.18 e 5.19, no biofiltro 5 e no biofiltro 6, apesar de não serem visíveis picos extremos de turvação, observam-se ligeiros aumentos, que coincidem com fases que aparentam ser as de descompactação com ar (maior variação de turvação). Outro fator relevante, é o facto da turvação do efluente final, atingir rapidamente valores próximos dos 6 NTU, o que indicia um bom desempenho do filtro.

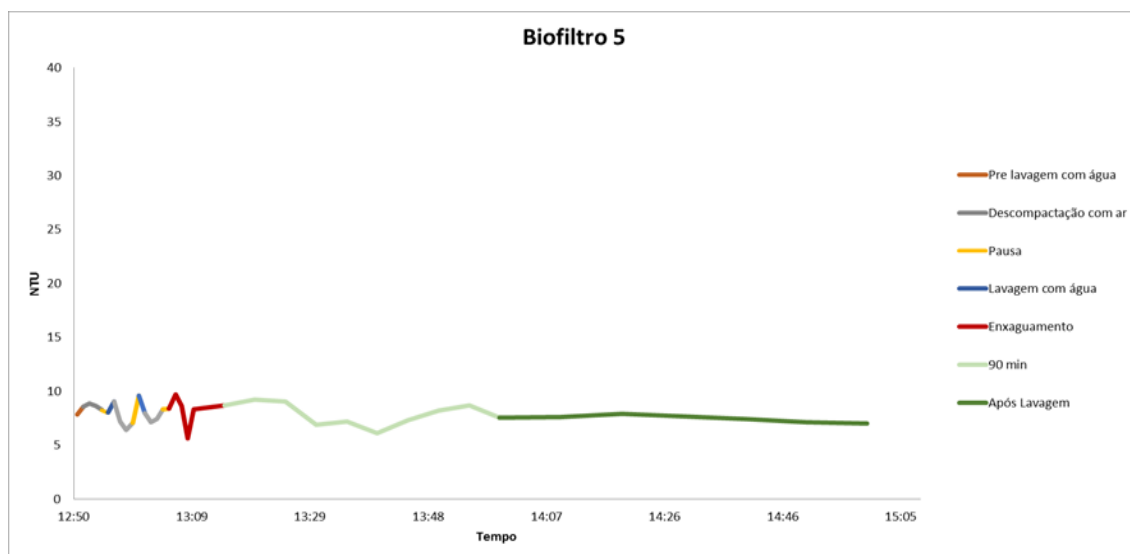


Figura 5.18. Representação da variação da turvação durante uma lavagem – biofiltro 5

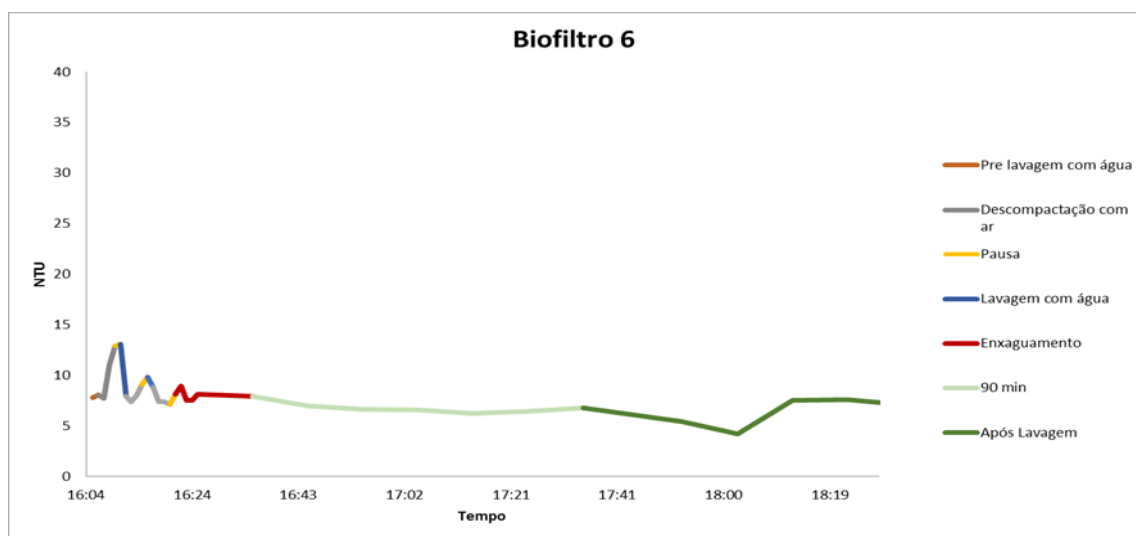


Figura 5.19. Representação da variação da turbidez durante uma lavagem – biofiltro 6

5.2.4. Planeamento de alterações

Para a estimativa do volume de água utilizado numa lavagem foi considerada a velocidade de lavagem, o tempo que dura cada uma das fases, bem como a área do biofiltro (215m^2). Como se pode observar pela tabela 5.10, a lavagem de um biofiltro utiliza 2311 m^3 de água, sendo que o maior consumo está concentrado nas fases de lavagem com água (T1) e de enxaguamento (T3).

Tabela 5.10. Volume de água consumido na lavagem de um biofiltro

	Tempo	Fases	Velocidade (m/h)	m ³ água gastos	m ³ água gasta para os 15
T0	45	Pré lavagem com água	60	161	2418,8
T2	180	Descompactação com ar			
T14	30	Pausa			
T1	150	Lavagem com água	60	538	8063
T2	180	Descompactação com ar			
T14	30	Pausa			
T1	150	Lavagem com água	60	538	8063
T2	180	Descompactação com ar			
T14	30	Pausa			
T3	300	Enxaguamento	60	1075	16125
Total	1275			2311	34669

Deste modo, foram propostas alterações nos parâmetros velocidade e tempos de lavagem, com o objetivo de avaliar a possibilidade de, mantendo a eficiência de lavagem, se poderem alterar os parâmetros operacionais.

5.2.5. Alterações processuais com acompanhamento das lavagens dos biofiltros 5 e 6 durante o intervalo de tempo de 15 de Abril a 9 de Junho

Na tabela seguinte resumem-se as alterações dos parâmetros velocidade e tempo de lavagem efetuadas nos ciclos de lavagem (cenários 1 a 5).

Tabela 5.11. Alterações efetuadas no tratamento biológico

	Unidades	Origem	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5
Ciclos	nº	2	2	2	2	2	2
Velocidade atual	m/h	60	55	60	60	60	60
Tempo atual (T1)	s	150	150	130	140	135	150
Volume água gasto em T1	m3	538	493	466	502	484	493
Volume água gasto em T1 no total		1075	985	932	1003	968	985
Tempo atual (T3)	s	300	300	300	300	300	270
Volume água gasto em T3	m3	1075	1075	1075	1075	1075	968
Vol de água consumido na lavagem de 1 BF	m3	2311	2220	2168	2240	2204	2114
Redução	%		8,3	13,3	6,7	10	10
Datas			[15/4-20/4]	20-4-16	[28/4-30/4]	[30-4 a 4/5] e [30/5-6/6]	[6/6-9/6]

Em simultâneo, como referido no capítulo 4.2., foram registados os valores de colmatção, expansão e perda de carga diariamente; se algum filtro entrou fora de serviço e, se durante esse período ocorreram mini-lavagens. Ao mesmo tempo, foram registados o caudal diário afluente à biofiltração, a turvação de saída do MF 1 ao MF 4, a turvação do MF5 bem como a turvação do efluente final.

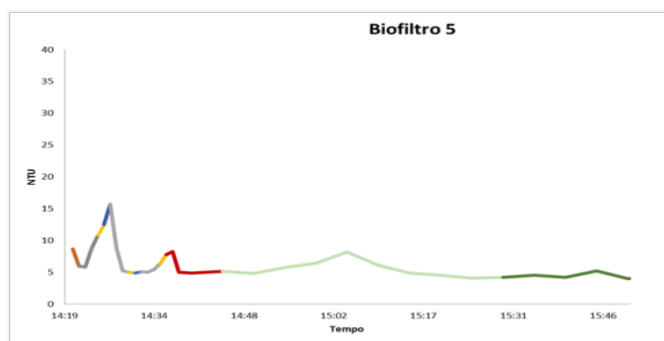
A análise dos resultados obtidos é efetuada no capítulo seguinte (capítulo 5.2.6).

5.2.6. Análise de alterações no processo

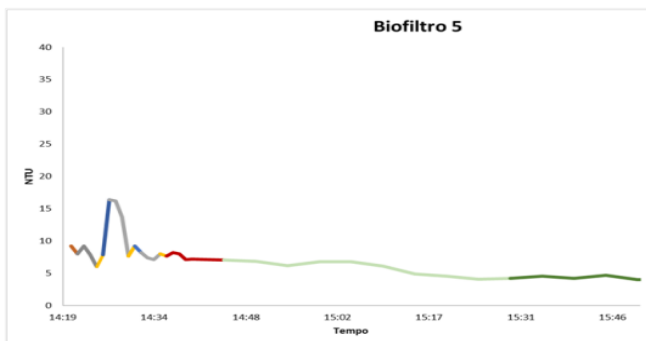
Na figura seguinte, são apresentados os resultados relativos à lavagem do biofiltro 5 com uma velocidade de 55 m/h no período de 15 a 19 de abril, e na figura 5.21 os valores de colmatção e de expansão, expressos em percentagem, para o mesmo período de tempo.

A cada cor corresponde uma fase da lavagem comum a todas as figuras apresentadas, em que:

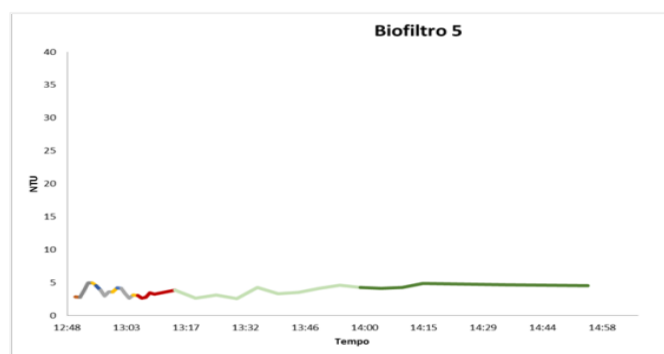
Fase	Tempo (s)	Cor
Pré lavagem com água	45	
Descompactação com ar	180	
Pausa	30	
Lavagem com água	150	
Enxaguamento	300	
Fim da lavagem	-	
Após 90 minutos		



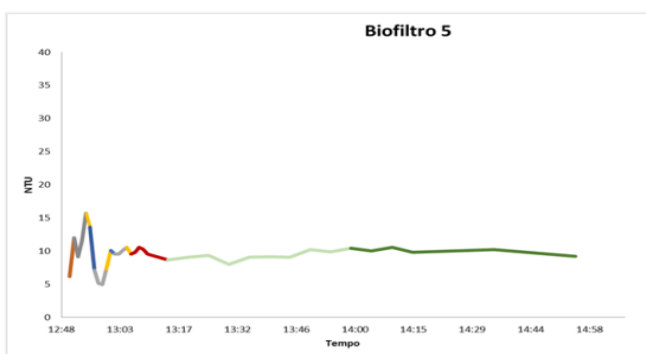
a) 15 de abril



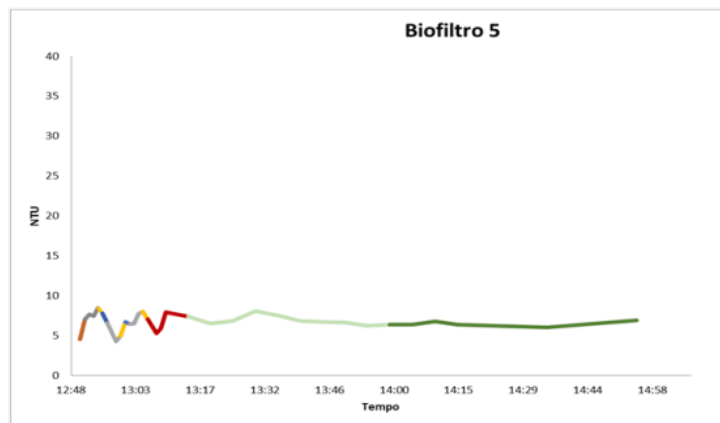
b) 16 de abril



c) 17 de abril



d) 18 de abril



e) 19 abril

Figura 5.20. De a) a e) - Lavagens do biofiltro 5, com uma velocidade de 55 m/h, no período de 15 de abril a 19 de abril

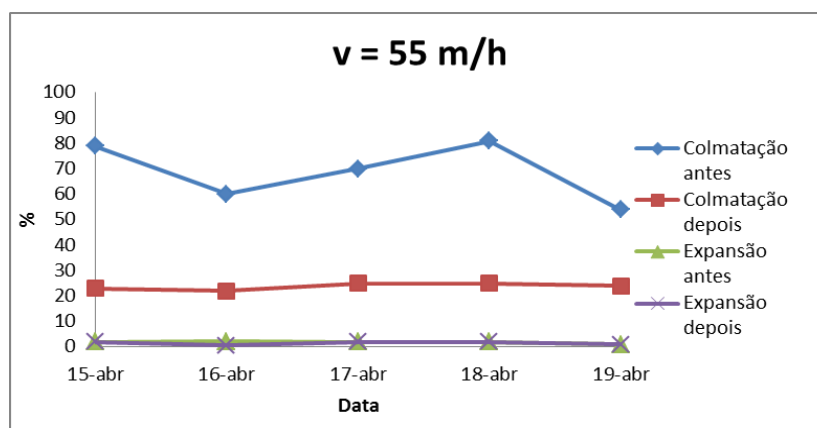
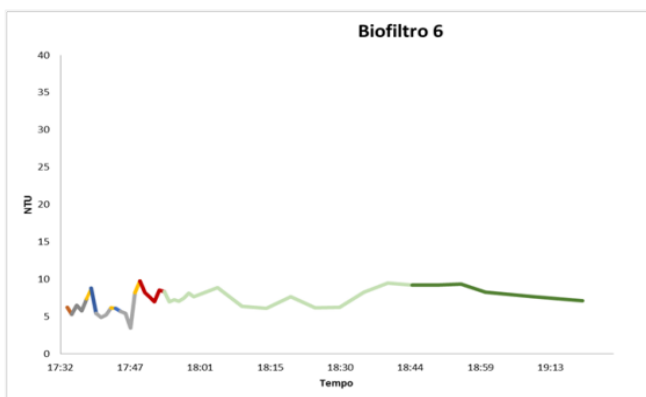
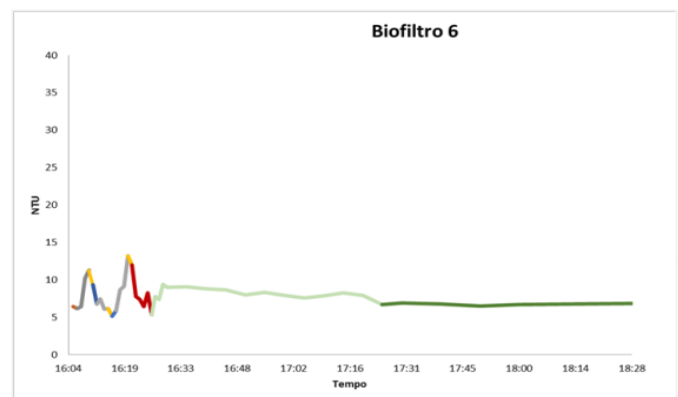


Figura 5.21. Evolução da colmatção e expansão ao longo do tempo para o biofiltro 5

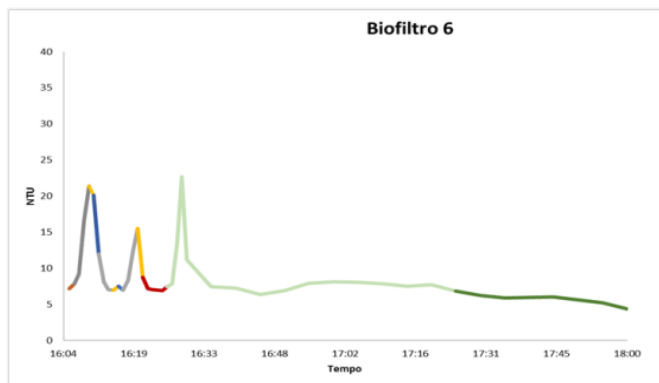
Na figura 5.22, são apresentados os resultados relativos à lavagem do biofiltro 6 com uma velocidade de 55 m/h no período de 15 a 19 de abril, e na figura 5.23 os valores de colmatção e de expansão, expressos em porcentagem, para o mesmo período de tempo.



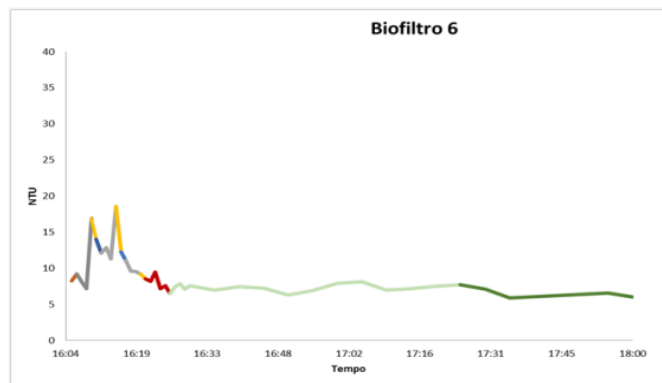
a)



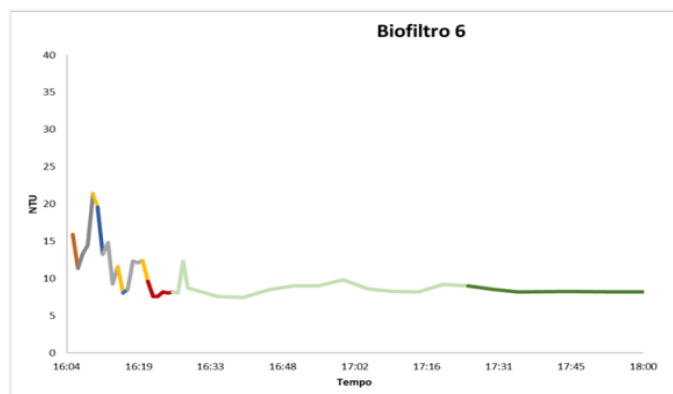
b)



c)



d)



e)

Figura 5.22. De a) a e) - Lavagens do biofiltro 6 com uma velocidade de 55 m/h, entre 15 de abril a 20 de abril, respetivamente.

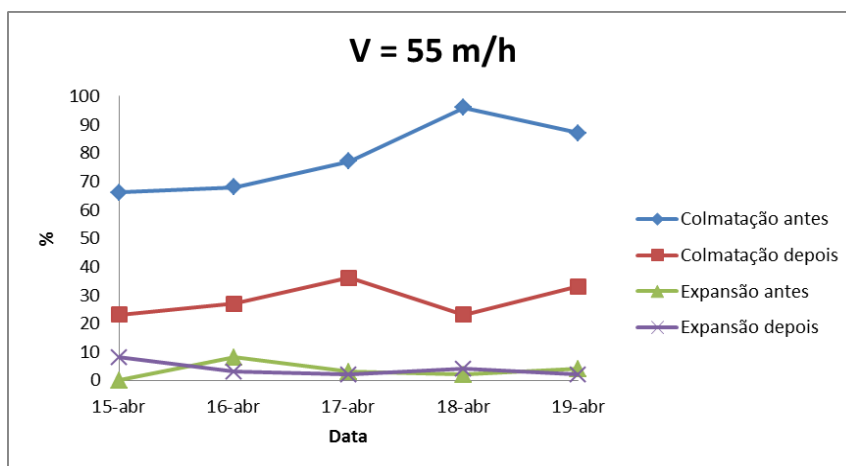


Figura 5.23. Evolução da colmatção e expansão ao longo do tempo para o biofiltro 6

Da análise das figuras anteriores, importa referir o seguinte: ao reduzir-se a velocidade de lavagem, aumenta a probabilidade do caudal não ser suficiente para encaminhar os sólidos em suspensão para o tanque de água de lavagem. Pela análise dos resultados para este período, destaca-se a lavagem do biofiltro 6 referente ao dia 17 abril em que o nível de colmatção após lavagem, foi de 35% o que indica que a lavagem não foi eficaz, pois deveria situar-se entre os 15% e os 25%. Assim, o filtro iniciou a fase de filtração com alguma acumulação de sólidos em suspensão, o que deu origem a um nível de colmatção de 92%, antes de entrar em lavagem no dia 18 de abril. Após a comparação com os resultados para os 15 biofiltros, verifica-se um pico de colmatção, comum a todos eles, no dia 18

abril, justificado pela grande afluência de caudal ao tratamento secundário, o que originou uma maior acumulação de sólidos no interior das células de biofiltração.

Da análise das lavagens dos biofiltros 5 e 6, não foram verificadas alterações na turvação após lavagem, permanecendo os resultados no intervalo de valores entre os 7 e os 10 NTU.

No dia 20 de abril, durante a análise diária aos parâmetros de colmatção, expansão, perda de carga, turvação do MF5 e ocorrência de mini-lavagens, verificou-se que durante a noite, 3 filtros entraram em mini-lavagem tendo sido reposta a velocidade inicial de 60 m/h. Na figura seguinte (5.24) são apresentados os resultados referentes às lavagens dos biofiltros 5 e 6, no dia 20 de abril, com um tempo de lavagem com água de 130 segundos. Na tabela 5.12. são apresentados os valores de colmatção antes e após lavagem para os biofiltros 5 e 6 no dia 20 de abril.

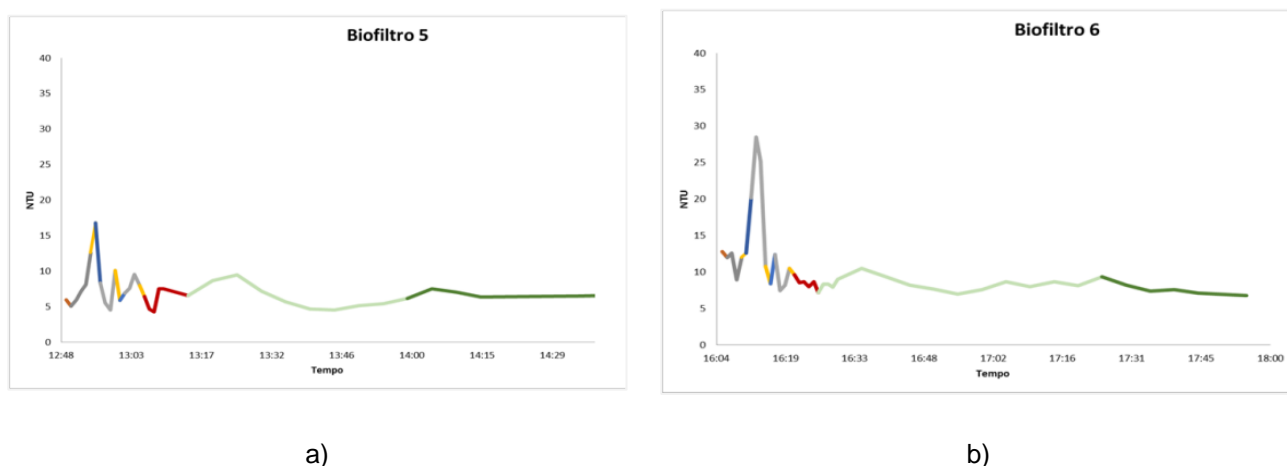


Figura 5.24. a) e b) Lavagem biofiltro 5 e 6 com tempo de lavagem com água de 130 segundos, no dia 20 de abril

Tabela 5.12. Valores de colmatção antes e depois de lavagem para o dia 20 de abril – biofiltro 5 e 6

Biofiltro	Colmatção		Expansão	
	Antes da lavagem	Depois da lavagem	Antes da lavagem	Depois da lavagem
BF5	83	26	1	1
BF6	88	29	2	0

Da análise da figura e da tabela anterior, importa referir que: após a reposição da velocidade para os 60 m/h optou-se por alterar o tempo de lavagem (T1) para 130 segundos. No entanto, a colmatção máxima admitida (90%) na maioria dos filtros (a figura 5.24, relativa aos biofiltros 5 e 6 é elucidativa pelos elevados picos turvação no início do ciclo de lavagem) estava a ser atingida mais rapidamente, alguns perto dos 100%, e a turvação à saída do MF5 continuava muito elevada optando-se por repor o tempo no próprio dia ao final da tarde.

Na figura 5.25 são apresentados os resultados referentes às lavagens dos biofiltros 5 para os dias 28 e 29 de abril, com um tempo de lavagem com água de 140 segundos. Na tabela 5.13. são

apresentados os valores de colmatação antes e após lavagem para os biofiltros 5 referentes a esses mesmos dias.

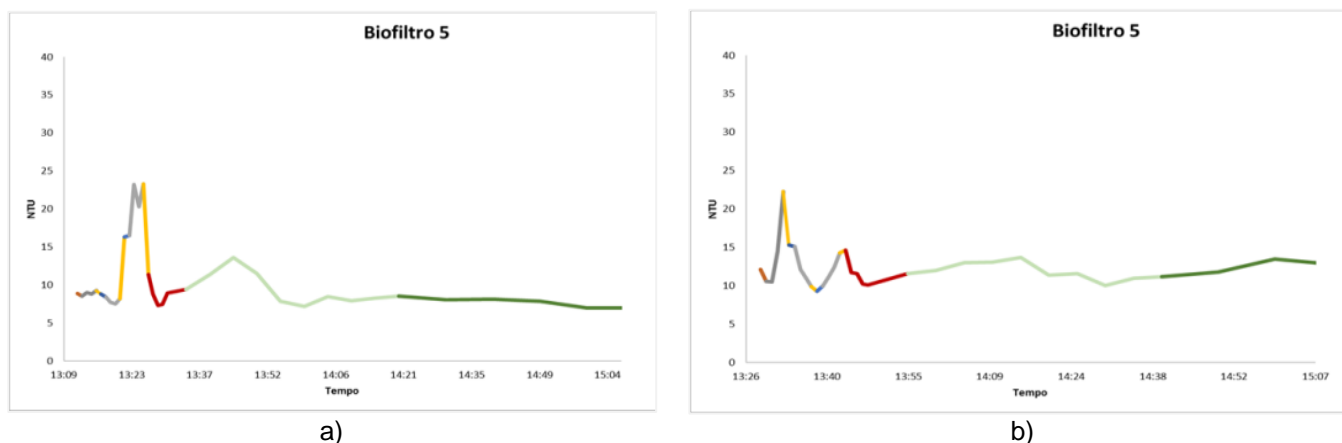
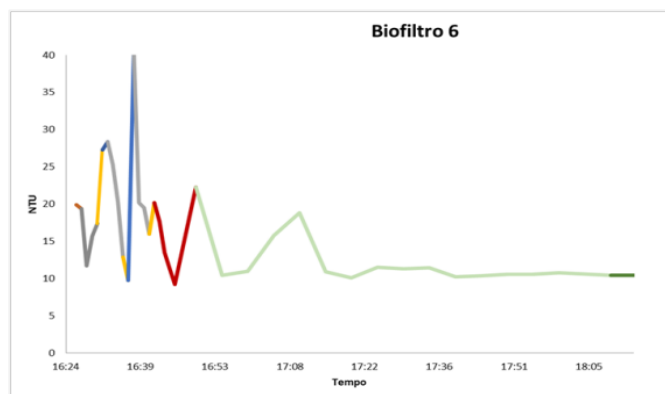


Figura 5.25. a) e b) Lavagens do biofiltro 5: 28 e 29 de Abril

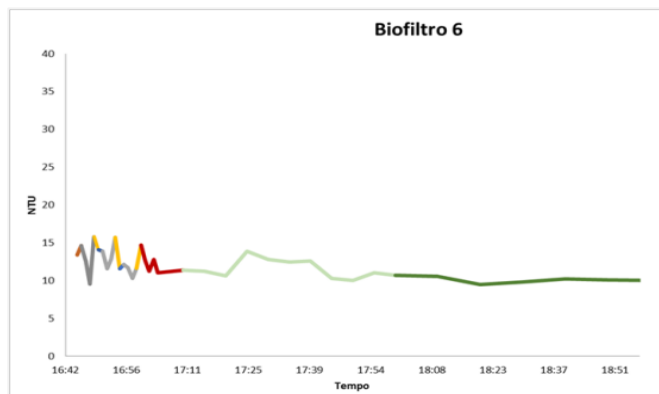
Tabela 5.13. Valores de colmatação e expansão antes e depois de lavagem para os dias 28 e 29 de abril – biofiltro 5

Data	Colmatação		Expansão	
	Antes da lavagem	Depois da lavagem	Antes da lavagem	Depois da lavagem
Dia 28	86	29	1	0
Dia 29	86	36	1	0

Na figura seguinte (5.26) são apresentados os resultados referentes às lavagens dos biofiltros 6, para os dias 28 e 29 de abril, com um tempo de lavagem com água de 140 segundos. Na tabela 5.14. encontram-se apresentados os valores de colmatação e expansão, antes e após lavagem, para o biofiltros 6 referentes a esses mesmos dias.



a)



b)

Figura 5.26. a) e b) Lavagens do biofiltro 6: 28 e 29 de abril

Tabela 5.14. Valores de colmatção e expansão antes e depois de lavagem para os dias 28 e 29 de abril – biofiltro 6

Data	Colmatção		Expansão	
	Antes da lavagem	Depois da lavagem	Antes da lavagem	Depois da lavagem
Dia 28	93	25	11	5
Dia 29	92	30	5	5

Após as alterações efetuadas até ao dia 20 de abril, optou-se por manter o T1 em 150 segundos durante 7 dias para analisar se os filtros continuariam a atingir o nível de colmatção perto dos 100%. No entanto, devido à ocorrência de elevada precipitação durante essa semana, com o consequente aumento de caudal afluente e carga hidráulica, os filtros continuaram a atingir níveis de colmatção muito elevados, antes da hora prevista para início dos respetivos ciclos de lavagem. Apesar destas condições se terem mantido, foi alterado o T1 para 140 segundos. Durante a análise aos parâmetros diários da estação, não foram detetadas evidências de um mau desempenho do tratamento tendo-se avaliado o novo cenário com o T1 de 135 segundos.

Na figura 5.27 são apresentados os resultados referentes às lavagens dos biofiltros 5 para o período de 30 de abril a 3 de maio, com um tempo de lavagem com água de 135 segundos. Na figura 5.28 é apresentada a evolução da colmatção e expansão de 30 de Abril a 4 de Maio para o biofiltro 5.

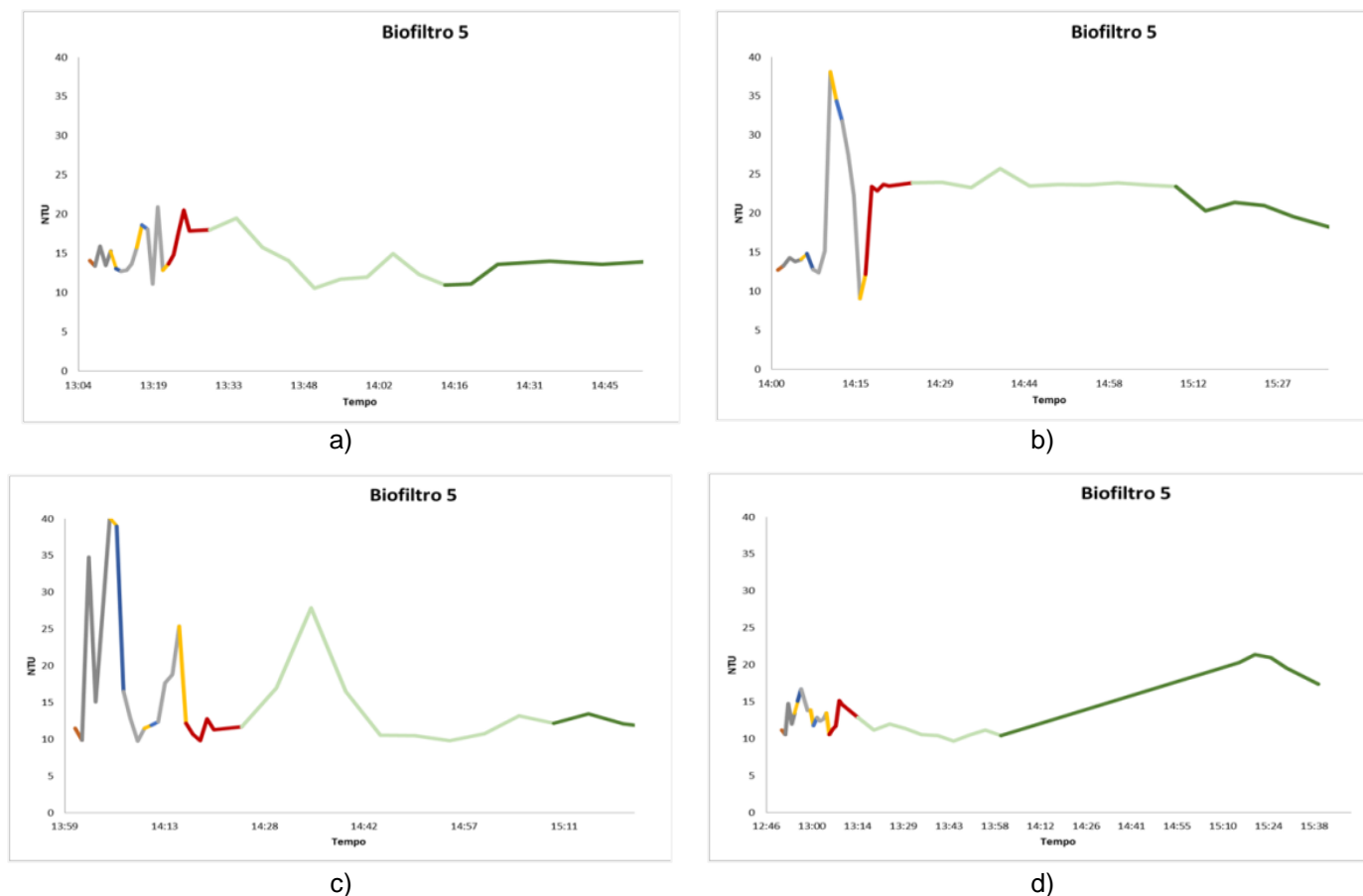


Figura 5.27. a), b), c) e d) Lavagens do biofiltro 5: 30 de Abril a 3 de Maio

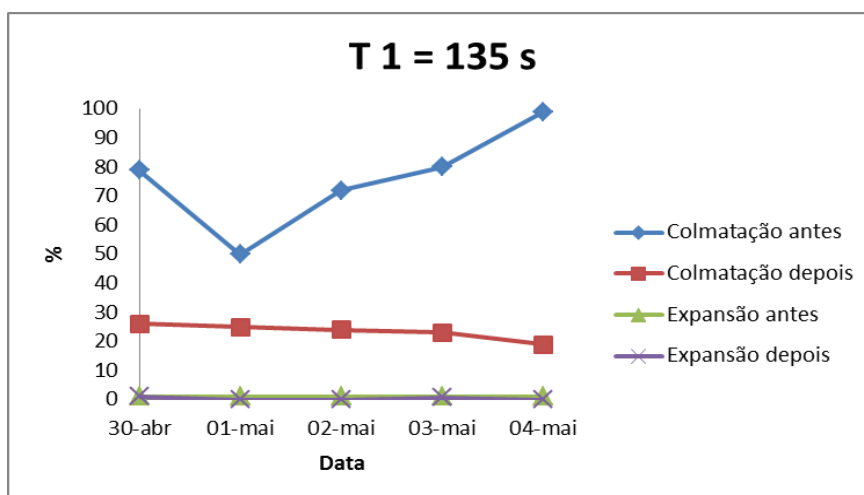


Figura 5.28. Evolução da colmatção e expansão de 30 de abril a 4 de Maio para o biofiltro 5

Na figura 5.29 são apresentados os resultados referentes às lavagens dos biofiltros 6 no período de 30 de abril a 3 de maio, com um tempo de lavagem com água de 135 segundos. Na figura 5.30 é apresentada a evolução da colmatção e expansão de 30 de abril a 4 de Maio para o biofiltro 6.

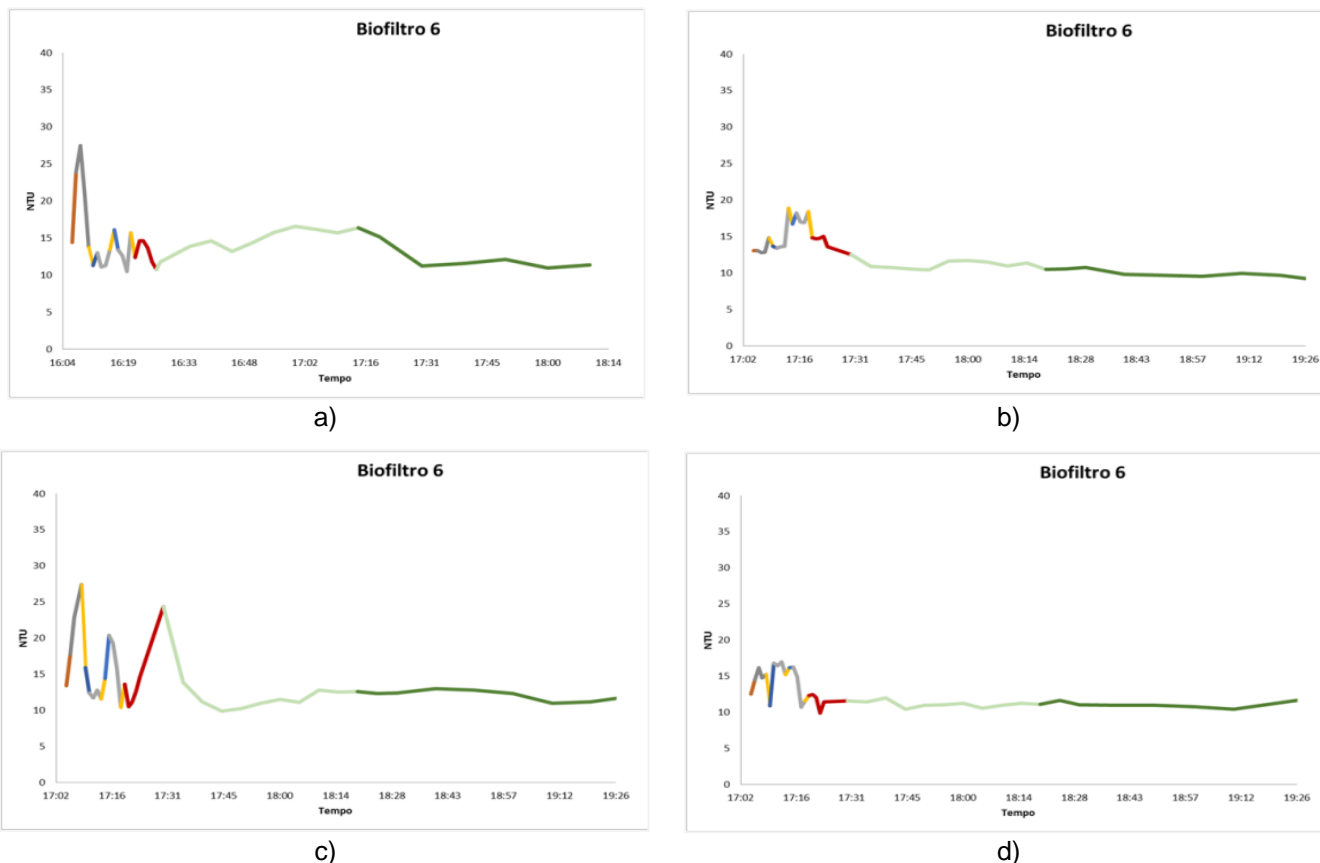


Figura 5.29. a), b), c) e d) Lavagens do biofiltro 6: 30 de abril a 4 de maio

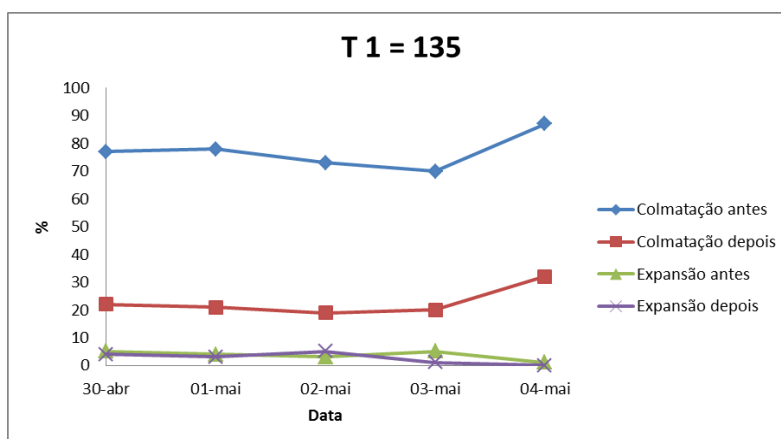


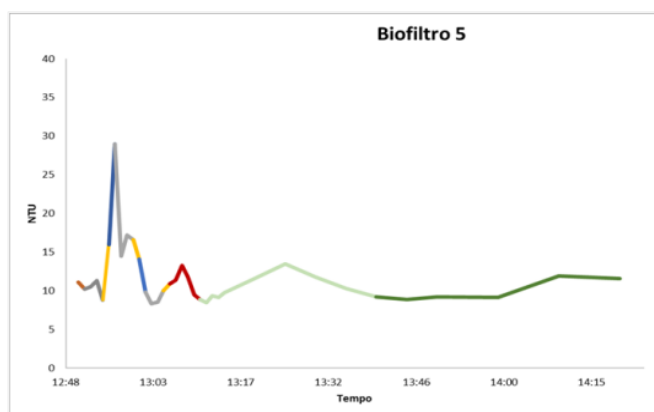
Figura 5.30. Evolução da colmatção e expansão de 30 de abril a 4 de maio para o biofiltro 6

Durante este período, verificou-se um aumento do número de mini-lavagens, chegando a efetuar-se três mini-lavagens diárias (em dois dias consecutivos). Pela análise da figura 5.44, que é apresentada na página 82 (turvação à saída do MF5 versus turvação do efluente final), é visível que para o período de 30 de abril a 4 de maio os valores de turvação do MF5, bem como a ocorrência de mini-lavagens, continuava elevado. Analisando os valores de turvação do efluente final, verificou-se um pico de turvação de 45 NTU no dia 2 de maio, às 10:13. Este pico foi justificado pelo facto do biofiltro 11 se encontrar temporariamente fora de serviço devido a uma avaria, tendo o ciclo de lavagem sido iniciado apenas às 9:33 (a hora de lavagem segundo a matriz: 8:00). Quando um filtro é posto fora de serviço permanece com um arejamento intermitente, muito inferior ao modo de filtração, por forma a

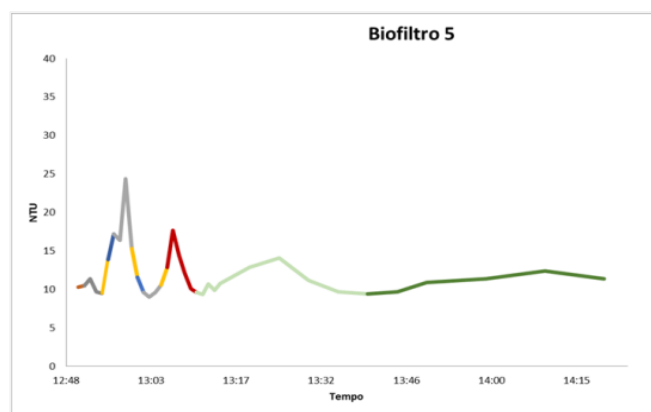
evitar condições anaeróbias e os problemas de odores resultantes. No entanto, isto resulta numa acumulação de meio filtrante no topo do biofiltro que ao entrar em serviço poderá arrastar sólidos para o efluente tratado.

Estas ocorrências obrigaram a equipa de operação a colocar vários filtros fora de serviço manualmente, e a um supervisionamento do tratamento biológico mais rigoroso. Como consequência, no dia 4 de maio o T1 foi repostado para 150 segundos. Existindo a possibilidade de uma reação tardia dos biofiltros às alterações efetuadas, optou-se por não se realizar mudanças num período de pelo menos 7 dias. No entanto, durante este período, não foram cumpridos os objetivos de descarga duas vezes e num dos dias ocorreram 6 mini-lavagens, o que levou a prolongar o período sem alterações. Dia 30 de maio o T1 foi alterado para 135 segundos uma vez que a turvação do efluente final bem como a turvação do MF5 encontravam-se estabilizadas.

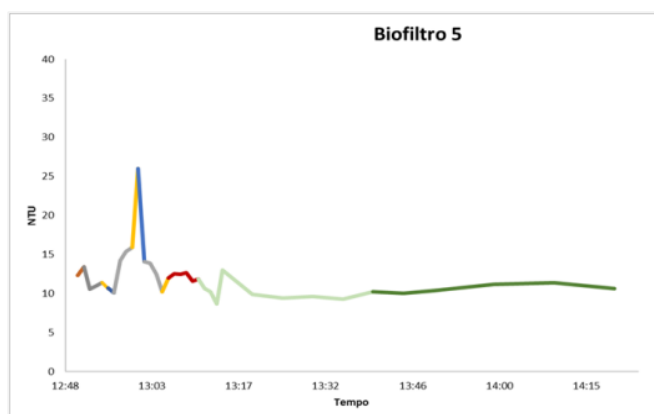
Na figura 5.31 são apresentados os resultados referentes às lavagens dos biofiltros 5 para o período de 30 de maio a 6 de junho, com um tempo de lavagem com água de 135 segundos. Na figura 5.32 é apresentada a evolução da colmatção e expansão nesse mesmo período, para o biofiltro 5.



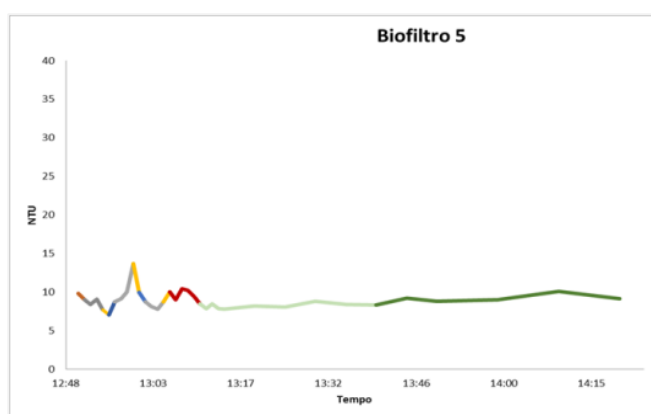
a)



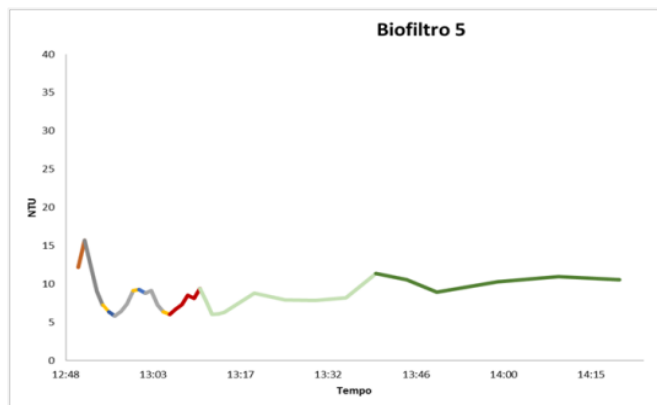
b)



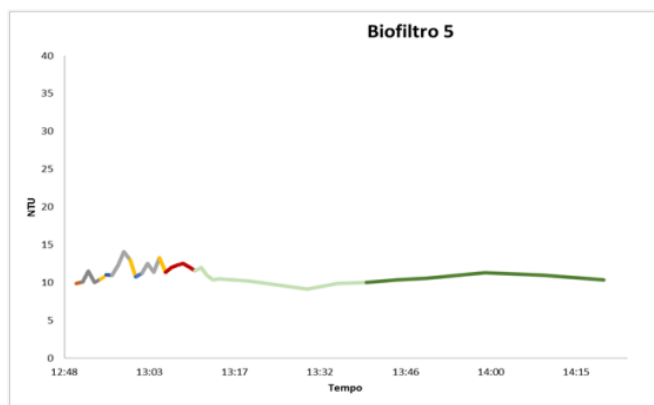
c)



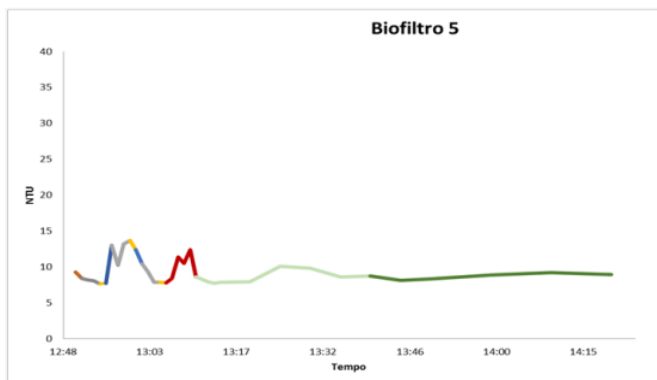
d)



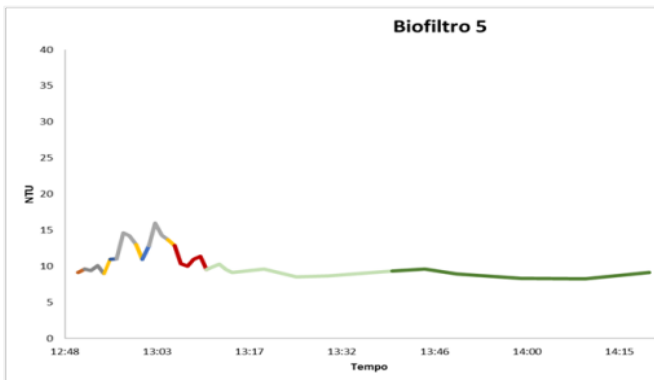
e)



f)



g)



h)

Figura 5.31. a) a h) - Lavagens do biofiltro 5: 30 de Maio a 6 de Junho

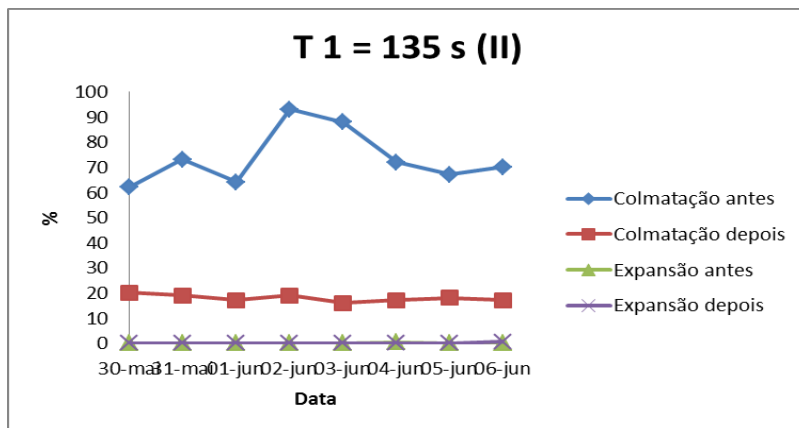
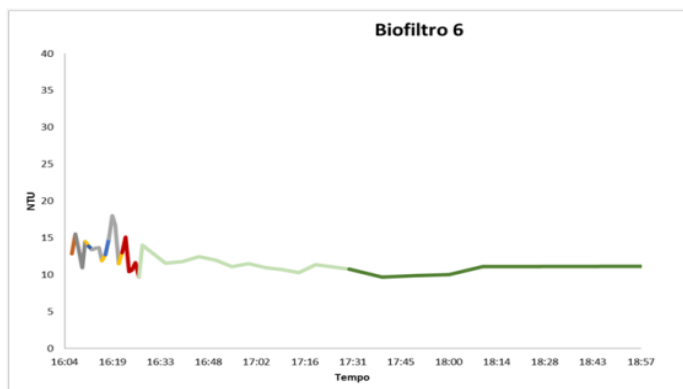
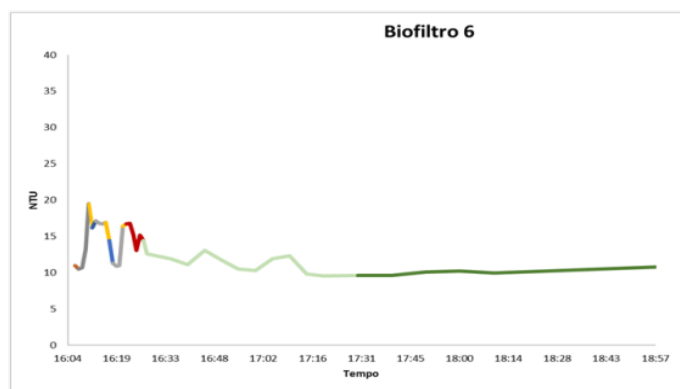


Figura 5.32. Evolução da colmatção e expansão de 30 de Maio a 6 de Junho para o biofiltro 5

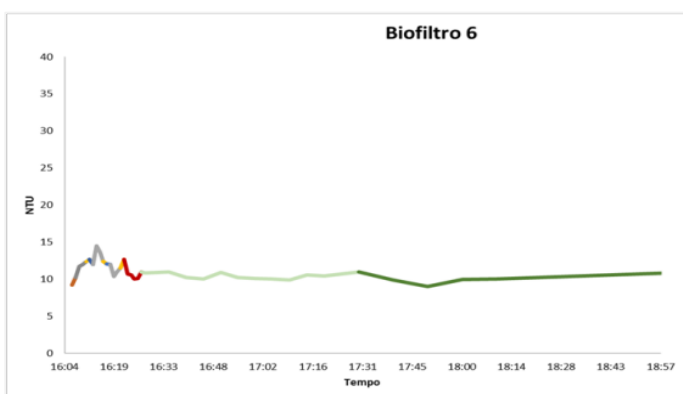
Na figura 5.33 são apresentados os resultados referentes às lavagens do biofiltro 6 para o período de 30 de maio a 6 de junho, com um tempo de lavagem com água de 135 segundos. Na figura 5.34 é apresentada a evolução da colmatação e expansão nesse mesmo período, para o biofiltro 6.



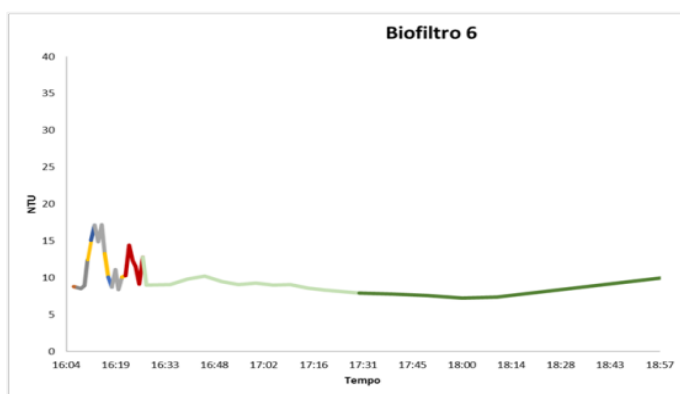
a)



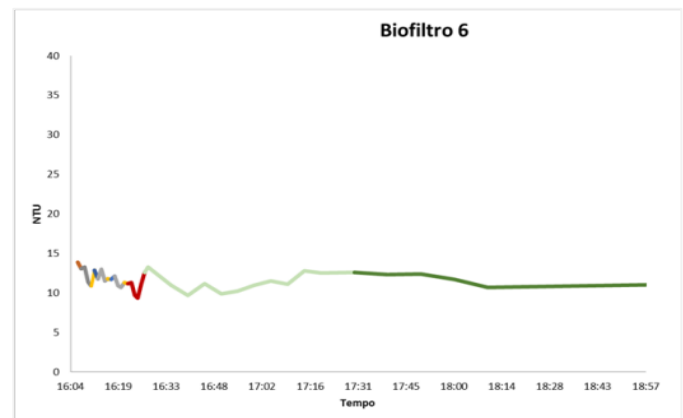
b)



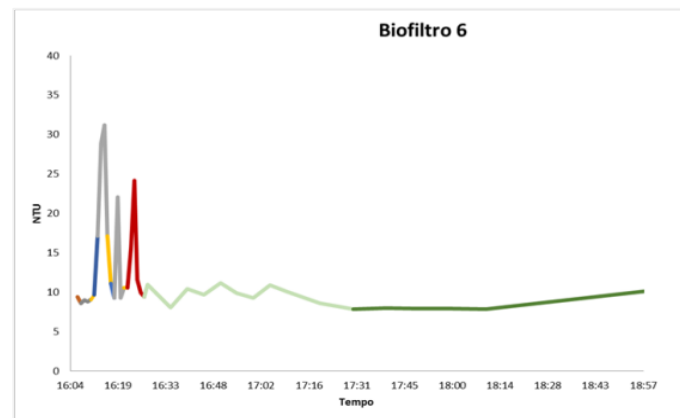
c)



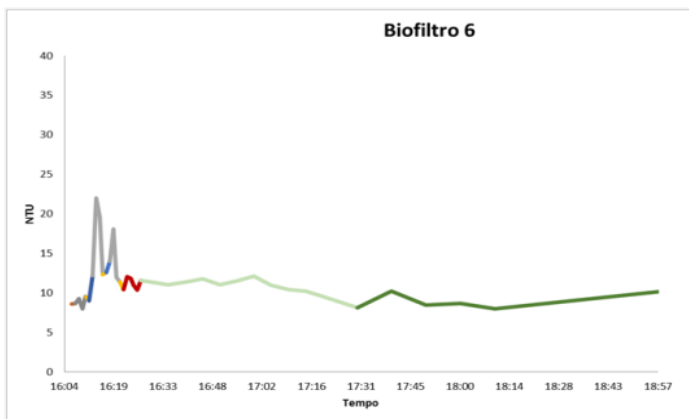
d)



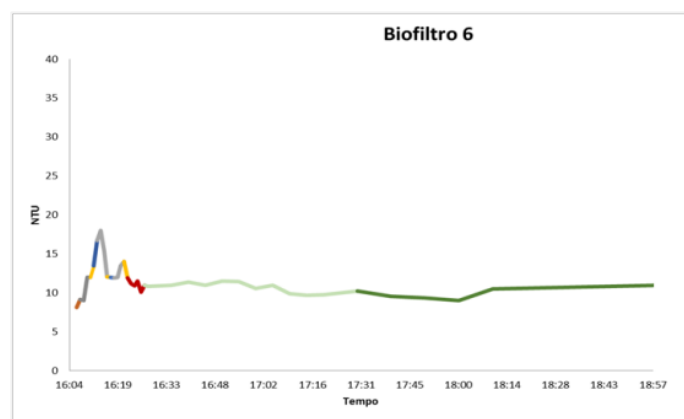
e)



f)



g)



h)

Figura 5.33. a) a h) Lavagens do biofiltro 6: 30 de Maio a 6 de Junho

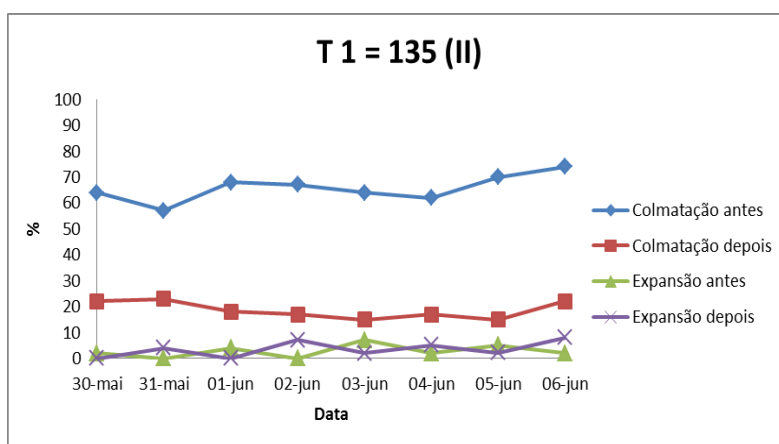


Figura 5.34. Evolução da colmatação e expansão de 30 de Maio a 6 de Junho para o biofiltro 6

Após os ensaios consecutivos em que se alterou o tempo de lavagem com água (T1), optou-se por alterar o tempo de enxaguamento (T3). O tempo de lavagem T1, que se repete por duas vezes na mesma lavagem (dois ciclos), é responsável por encaminhar a matéria em suspensão para o tanque de água de lavagem, sendo a fase onde se remove a maior parte da matéria em suspensão, após a descompactação com ar. Relativamente ao T3, esta fase de enxaguamento tem o mesmo propósito, no entanto, o efluente já se encontra mais clarificado. Por outro lado, esta fase tem uma duração de 300 segundos.

Na figura 5.35 são apresentados os resultados referentes às lavagens do biofiltro 5 para o período de 7 a 9 de junho, referentes à alteração efetuada no T3 (enxaguamento). Na tabela 5.15 é apresentada a evolução da colmatação e expansão nesse mesmo período para o biofiltro 5.

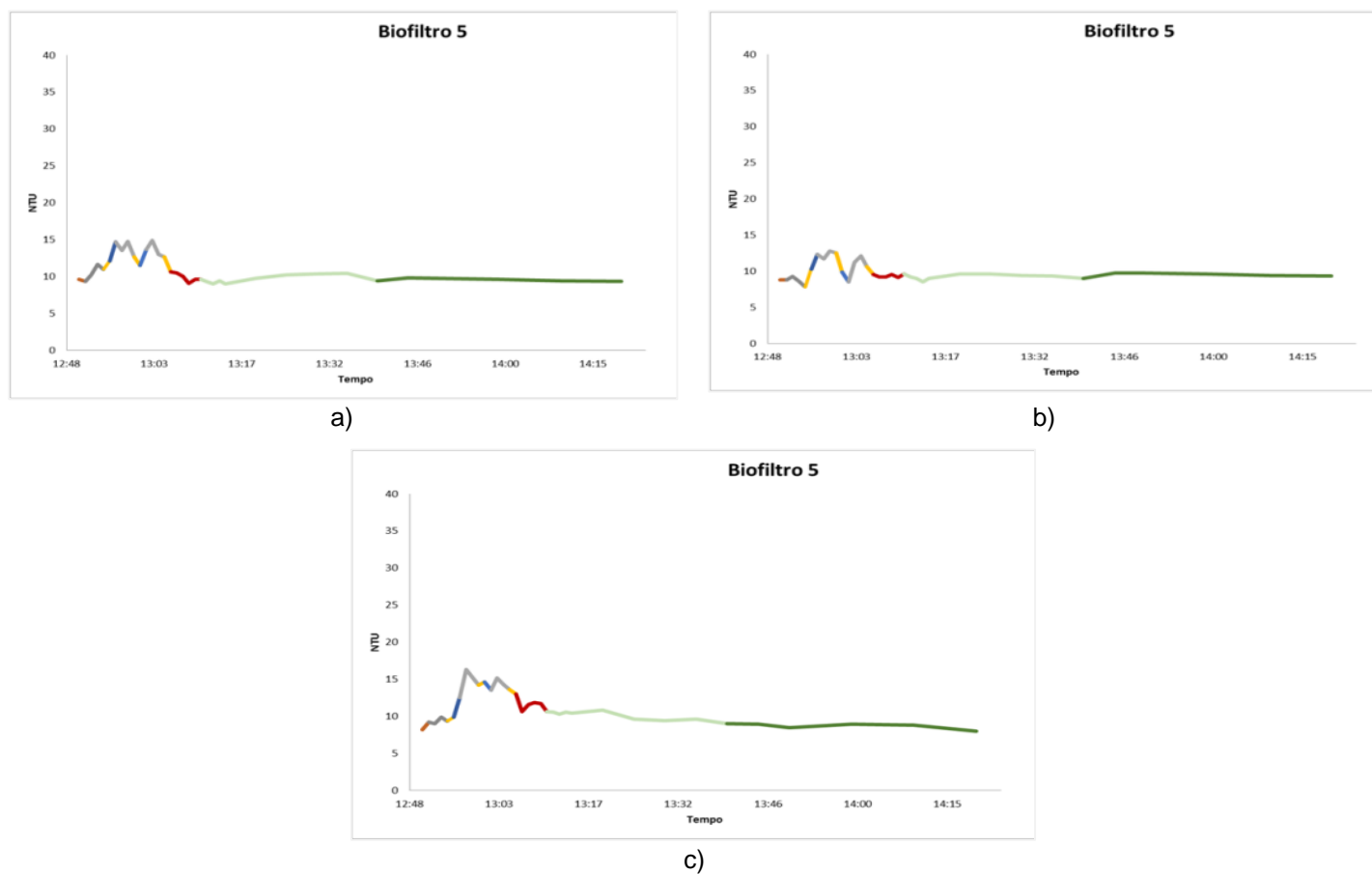


Figura 5.35. a) a g) - Lavagens do biofiltro 5: 7 de Junho a 9 de Junho

Tabela 5.15. Valores de colmatação e expansão de 7 de Junho a 9 de Junho para o biofiltro 5

Data	Colmatação		Expansão	
	Antes da lavagem	Depois da lavagem	Antes da lavagem	Depois da lavagem
07 Junho	87	18	1	1
08 Junho	64	17	1	1
09 Junho	64	16	1	1

Na figura 5.36 são apresentados os resultados referentes às lavagens do biofiltro 6 nos dias de 7 a 9 de junho, referentes à alteração efetuada no T3 (enxaguamento). Na tabela 5.16 é apresentada a evolução da colmatação e expansão nesse mesmo período para o biofiltro 6.

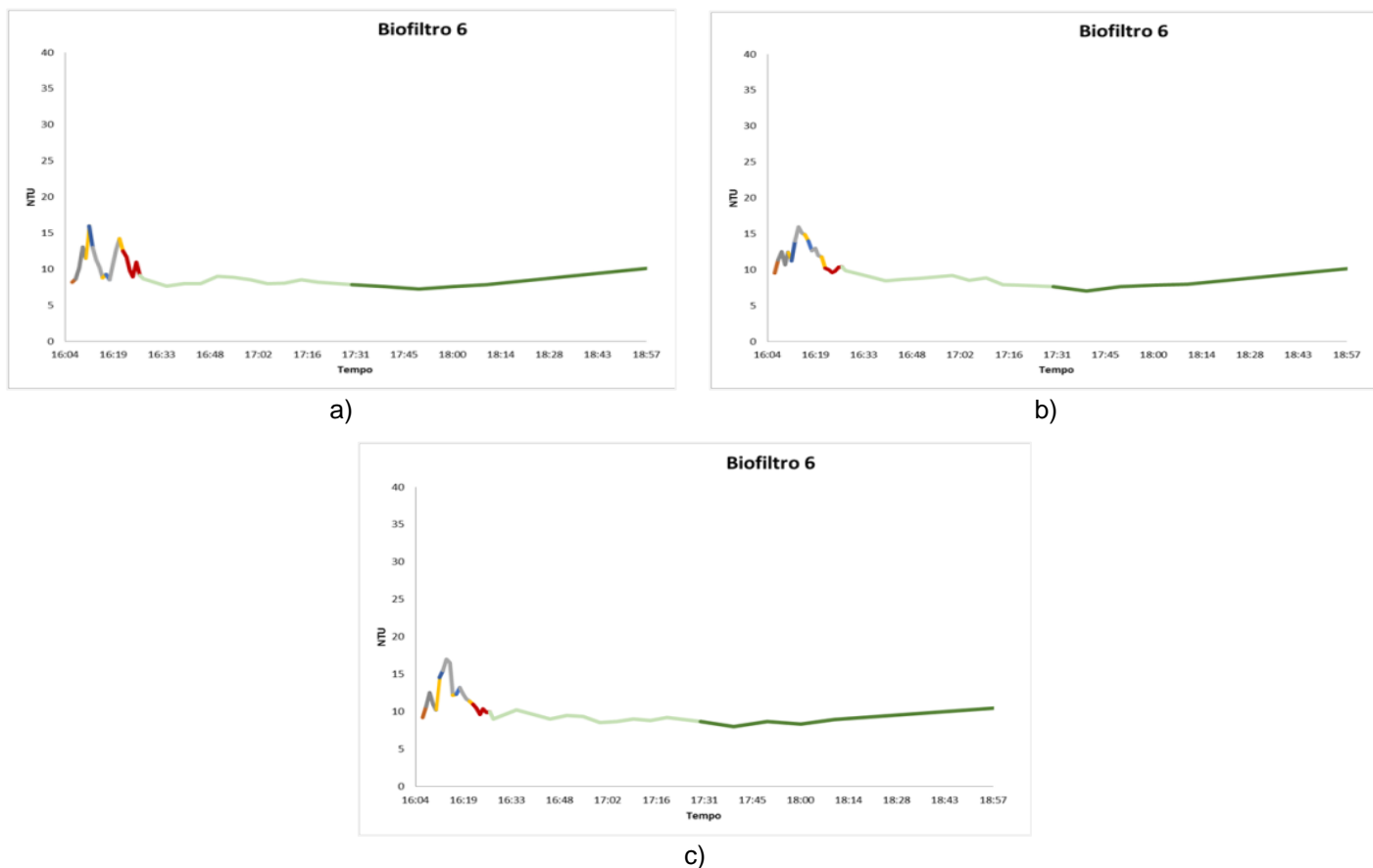


Figura 5.36. a), b) e c) - Lavagens do biofiltro 6: 7 de Junho a 9 de Junho

Tabela 5.16. Valores de colmatação e expansão de 7 de Junho a 9 de Junho para o biofiltro 6

Data	Colmatação		Expansão	
	Antes da lavagem	Depois da lavagem	Antes da lavagem	Depois da lavagem
07 Junho	77	23	8	4
08 Junho	76	11	3	3
09 Junho	93	19	3	3

Da análise efetuada, tem-se que no dia 9 de junho, apesar de aparentemente a turvação à saída, bem como a turvação após a lavagem, estarem dentro dos valores aceitáveis, o T3 foi repostado, pois num espaço temporal de 7 dias não foram cumpridos os objetivos de descarga por duas vezes (na tabela 5.19, que se apresenta mais à frente, resumem-se os valores dos parâmetros de qualidade no efluente final).

Dado o volume de resultados obtidos, e por forma a facilitar a avaliação das alterações, optou-se pela representação gráfica da colmatção ao longo do período de alterações, para os 15 biofiltros. Nas figuras 5.37 e 5.38, encontram-se representados em forma de gráfico a evolução desse parâmetro antes e após lavagem referente ao período de alterações, para o biofiltro 5 e biofiltro 6, respetivamente. Quanto aos restantes biofiltros, os resultados encontram-se disponíveis para consulta no anexo G1. Não foi considerado para a representação gráfica o período de 11 a 29 de maio, pois durante este período não foi possível obter os respetivos valores.

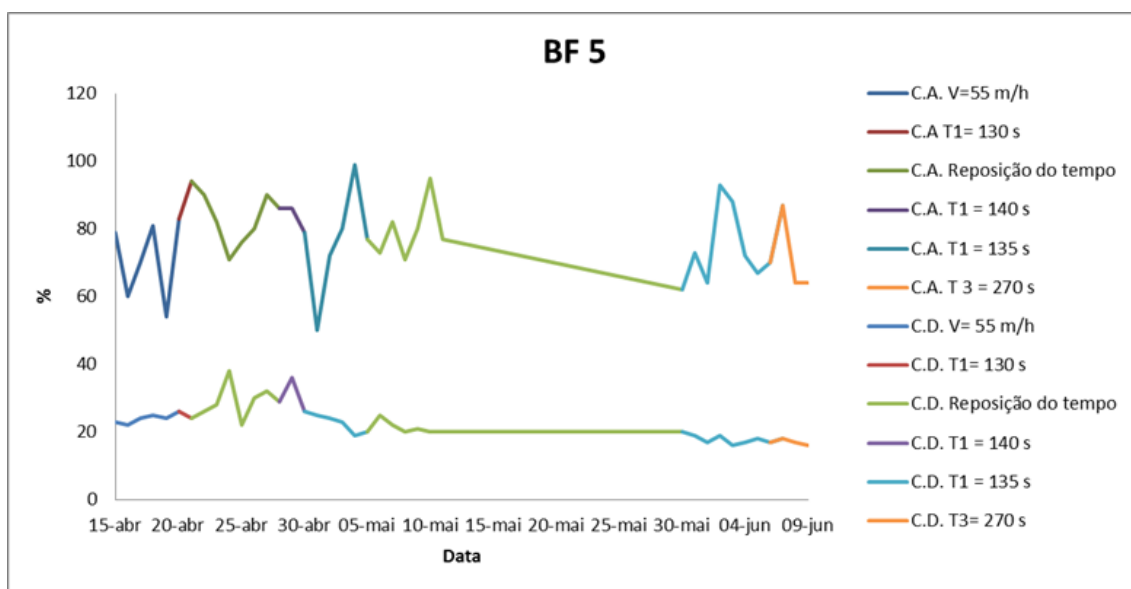


Figura 5.37. Variação da colmatção antes (em cima) e após lavagem (em baixo) referente ao período de alterações – biofiltro 5

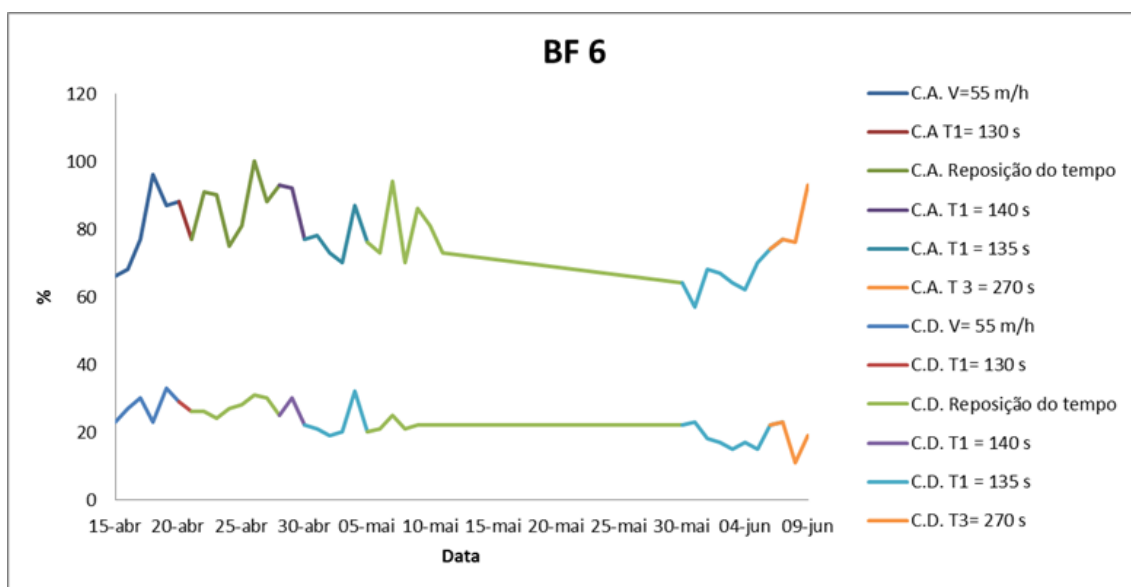


Figura 5.38. Variação da colmatção antes (em cima) e após lavagem (em baixo) referente ao período de alterações – biofiltro 6

Como referido na metodologia, foram registadas as horas de entrada em lavagem para os 15 biofiltros durante o período de tempo em que foram efetuadas alterações. No entanto, para o período de 15 de abril a 1 de maio, não se encontram disponíveis os valores da hora de entrada em lavagem devido a um problema no histórico da supervisão da ETAR.

Nas figuras 5.39 a 5.42 são apresentados os atrasos observados nos ciclos de lavagens dos biofiltros referentes ao período de alterações, bem como ao período correspondente à reposição do tempo.

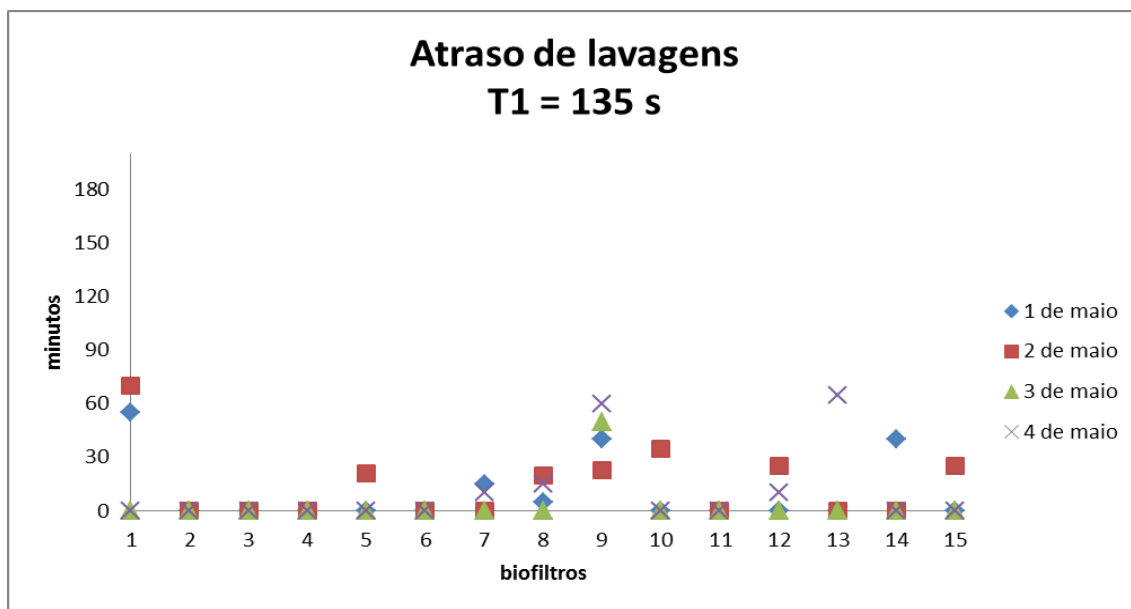


Figura 5.39. Atraso de lavagens para o período de 1 a 4 de maio

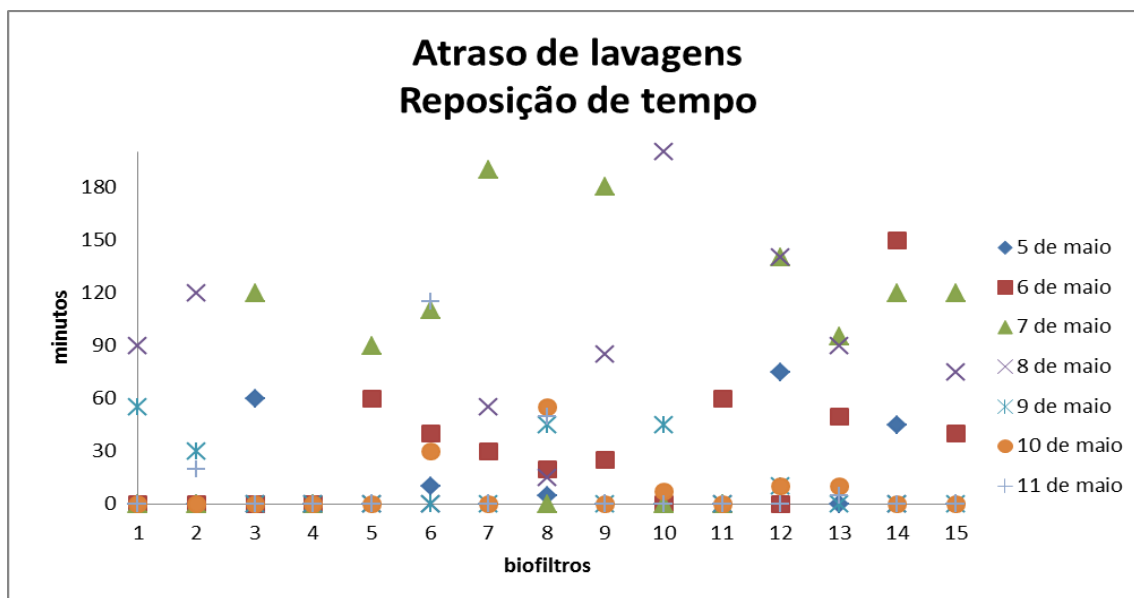


Figura 5.40. Atraso de lavagens para o período de 5 a 11 de maio

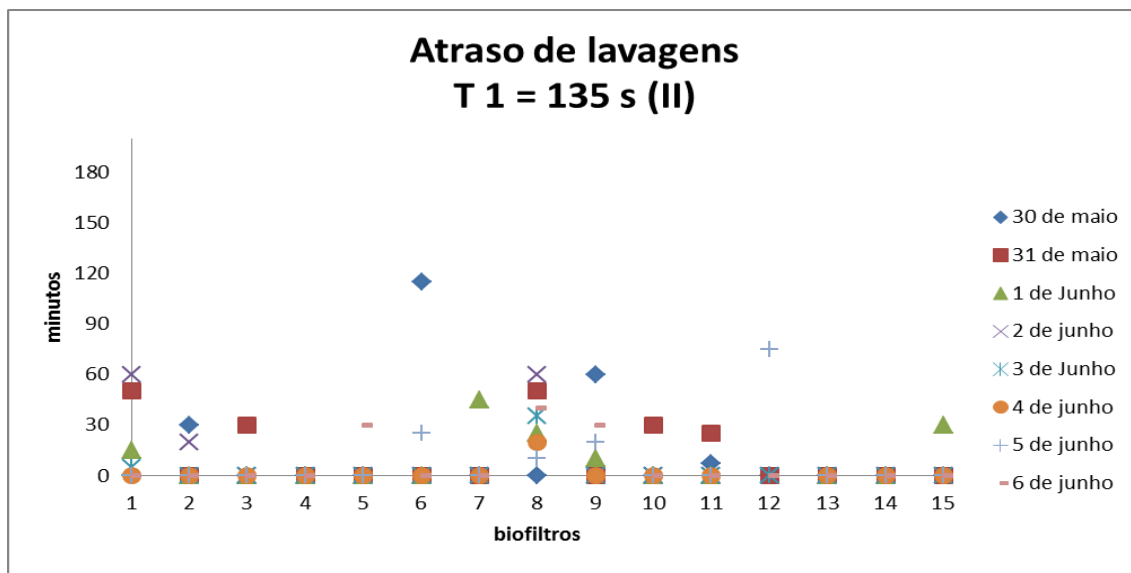


Figura 5.41. Atraso de lavagens para o período de 30 de maio a 6 de junho

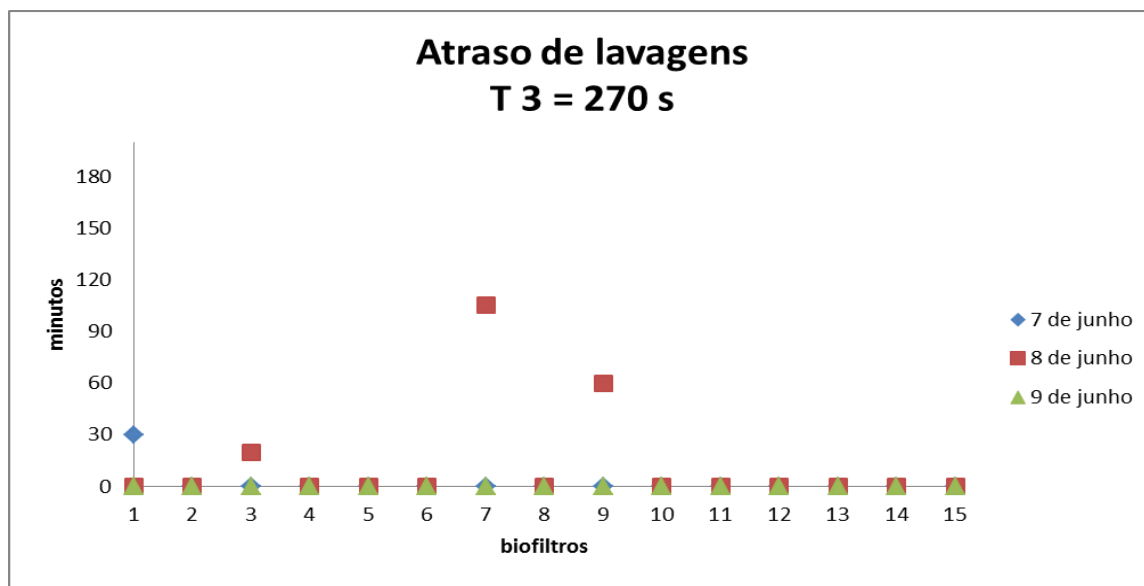


Figura 5.42. Atraso de lavagens para o período de 7 a 9 de junho

Do levantamento da hora de início dos ciclos de lavagem dos biofiltros durante o período de alterações, verificou-se que na semana de 5 a 11 de maio, correspondente à reposição do tempo T1, a maioria dos filtros registou atraso nas lavagens, sendo que os que apresentaram um maior desfasamento foram os biofiltros 6, 8 e 12. Deste período fica a indicação, como dias críticos, os dias 6, 7 e 8 de maio que correspondem aos dias com maior ocorrência de mini-lavagens, como pode ser observado pela análise do gráfico representado pela figura 5.44 (turvação à saída do MF5 vs mini-lavagens).

Efetuada uma análise comparativa entre a alteração feita ao T1 e a alteração feita ao T3, apesar do tempo de amostragem relativo ao T3 ter sido inferior, verificou-se que durante este período todos os parâmetros referidos anteriormente se encontravam estabilizados.

Na figura 5.43 são apresentados os valores de turvação no efluente final *versus* a ocorrência de mini-lavagens durante o período de alterações e, na figura 5.44, o caudal afluente à biofiltração no período de 1 de abril a 9 de junho.

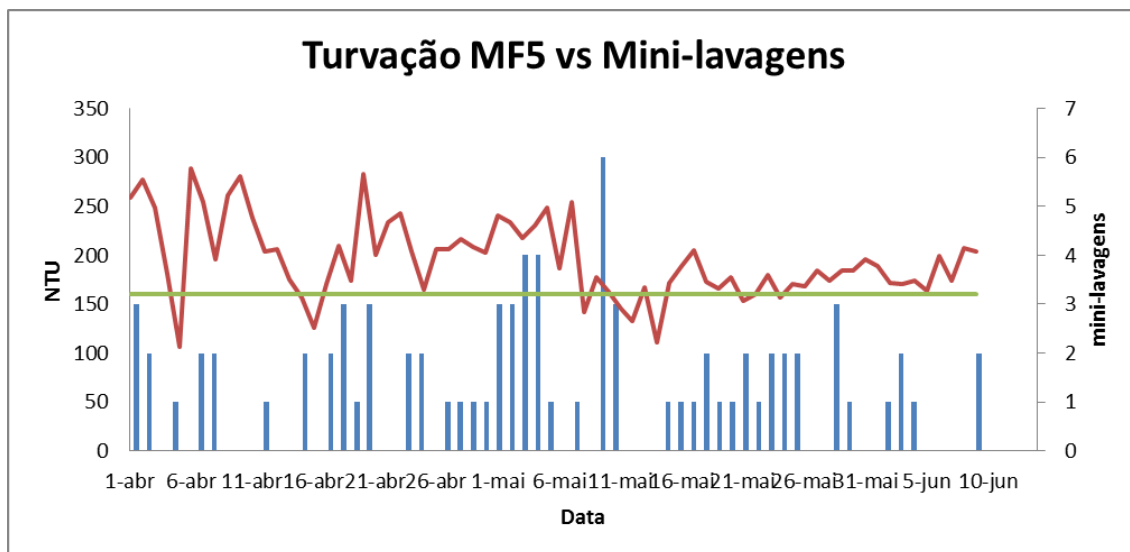


Figura 5.43. Turvação à saída do MF5 vs mini-lavagens

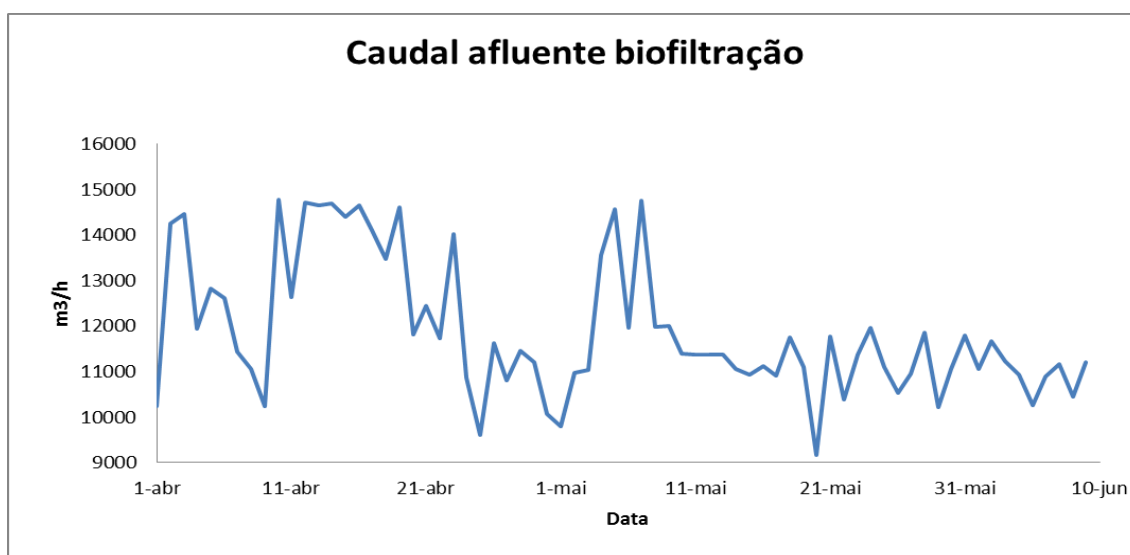


Figura 5.44. Caudal afluente à biofiltração no período de 1 de Abril a 9 de Junho

Pela análise dos resultados (figuras 5.43), observa-se que até dia 10 de maio, a turvação à saída do MF5 esteve na maioria dos dias acima dos 160 NTU, o que se poderia traduzir num aumento da turvação afluente aos biofiltros e num possível incumprimento do objetivo de descarga.

Este aumento de turvação coincidiu com os dias de maior ocorrência de mini-lavagens que por sua vez coincidiu com o período de alterações entre 15 e 20 de abril. Apesar da reposição do T1 entre 21 e 27 de abril, a turvação continuou com valores muito elevados bem como a ocorrência de mini-lavagens, facto que pode ser justificado pelo tempo de adaptação do sistema a alterações no processo. Simultaneamente a afluência de grandes caudais ao tratamento biológico durante esse período reduziu o desempenho da biofiltração (figura 5.44).

Na figura seguinte encontra-se representada a turvação à saída do tratamento primário (média do Multiflo 1 ao 4).

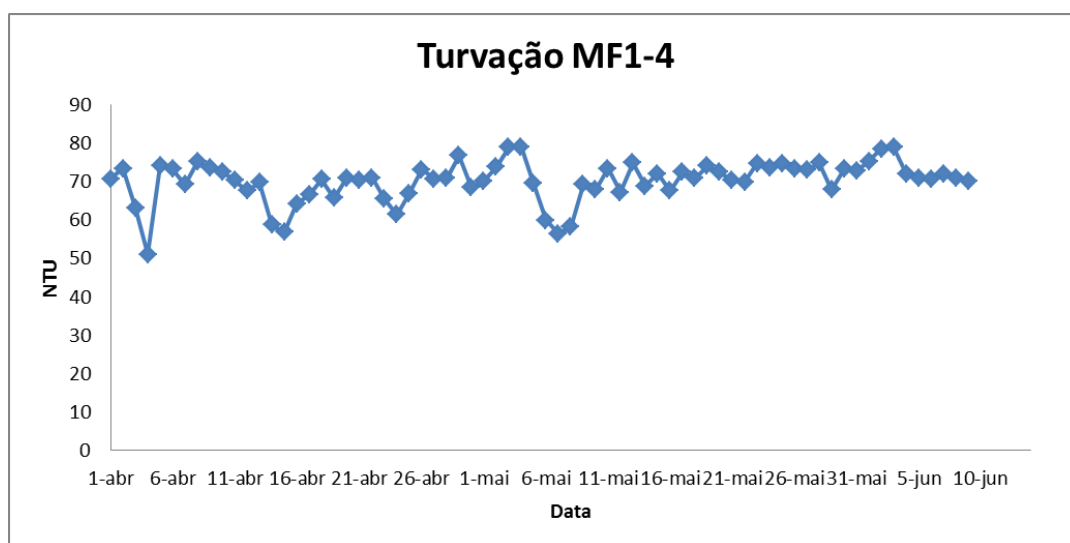


Figura 5.45. Turvação à saída (médias) MF 1 – 4

O efluente do tratamento primário, segue para a estação elevatória intermédia que aflui então ao tratamento secundário. São aceitáveis valores de turvação à saída do tratamento primário até aos 90 NTU. Pela análise dos valores médios diários de turvação à saída dos multiflo 1 ao 4 (figura 5.45), conclui-se que não há evidências de um mau desempenho do tratamento primário para este período descartando a sua relação com um possível aumento de colmatção dos filtros.

Na figura 5.46 são apresentados os valores de turvação do efluente final. Este valores correspondem ao valor máximo desse período (os valores de 15 a 20 de abril não estão disponíveis devido a um problema informático do sistema de Alcântara). Nos casos em que o valor máximo ultrapassou o valor teórico admissível, foi analisada a sua relação com o desempenho do tratamento biológico para esses dias, e comparado com a qualidade das amostras do efluente final (as amostras ao efluente final, são compostas de 24 horas, recolhidas com amostrador automático e realizadas de acordo com o plano de monitorização da ETAR sendo enviadas para o laboratório certificado da empresa EPAL - LVT, em Beirolos).

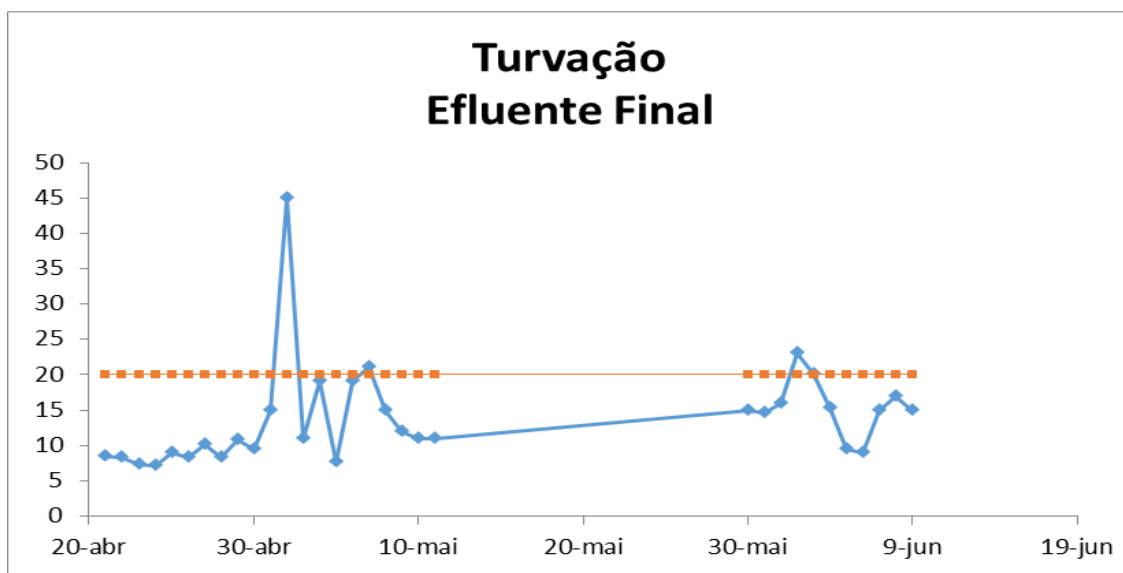


Figura 5.46. Resultados da turvação do efluente final para o período de 21 de Abril a 10 de Junho

Na tabela 5.17 apresentam-se os valores relativos à qualidade do efluente final, podendo-se verificar que nos dias em que foram efetuadas alterações processuais, não foram cumpridos alguns dos objetivos de descarga nomeadamente no dia 31 de maio, relativamente à concentração de CBO₅ (28 mg/L) e de SST (48 mg/L). No dia 7 de junho apesar do incumprimento, não foram detetadas anomalias decorrentes do tratamento.

Tabela 5.17. Concentrações do efluente final

Data	Efluente			Observações
	CBO₅	CQO	SST	
	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	
Máximo	25	125	35	
19 de Abril	13	55	16	
21 de Abril	16	79	20	
26 de Abril	15	69	29	
28 de Abril	15	65	32	
3 de Maio	20	77	30	
5 de Maio	16	72	34	
10 de Maio	8	43	14	
12 de Maio	6	43	16	
17 de Maio	13	72	38	- Ocorrência de mini-lavagens dos biofiltros; - Nível de colmatção elevado em algumas células, que tiveram como consequência o número de células em funcionamento, aumentando a carga hidráulica e mássica dos que se mantiveram em funcionamento, degradando a qualidade do efluente final.
19 de Maio	19	94	25	
24 de Maio	28	100	31	- Falta de fornecimento de O ₂ registado nesse dia, devido a algumas células terem colmatado rapidamente. - Após a colmatção foram despoletadas mini-lavagens que deterioraram a qualidade do efluente final, uma vez que a altura de meio filtrante deverá estar bastante reduzida.
26 de Maio	22	52	26	
31 de Maio	28	76	42	- Ocorrência de mini-lavagens dos biofiltros
2 de Junho	22	73	32	
7 de Junho	18	88	57	Não identificado

Na figura 5.47, apresenta-se um resumo dos biofiltros que têm um desempenho inferior devido a colmatação, expansão e lavagens atípicas.

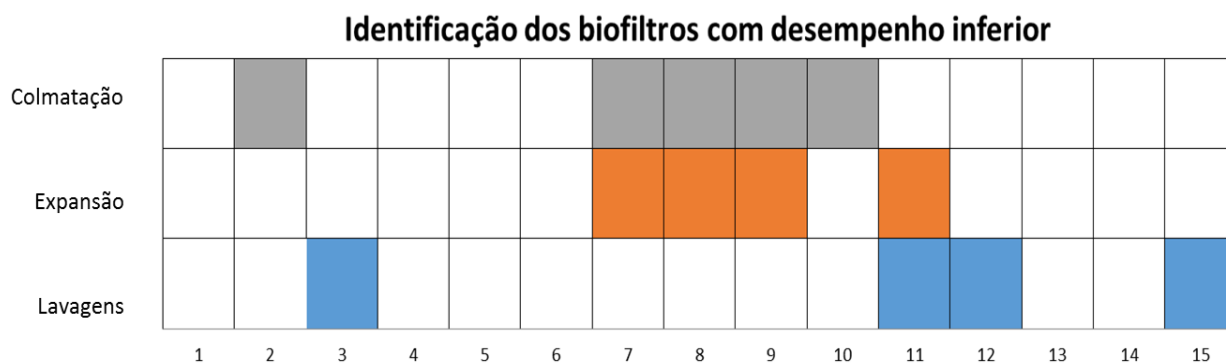


Figura 5.47. Identificação dos biofiltros com desempenho inferior

6. Conclusões

As principais conclusões do trabalho efetuado, incluem:

- Da análise dos resultados das eficiências de remoção de CBO5, CQO e SST, a ETAR de Alcântara apresenta uma capacidade de remoção superior aos valores definidos em projeto, tanto em tempo seco como em tempo húmido;
- Durante o ano de 2015, a caudal afluyente não ultrapassou o caudal máximo de projeto;
- Eventuais alterações ao parâmetro T1, isto é, lavagem só com água, não parecem poder constituir uma alternativa conducente à otimização do ciclo de lavagem dos biofiltros. De facto, face à importância associada a este parâmetro, eventuais alterações podem contribuir para uma diminuição da eficiência daquele ciclo;
- Eventuais alterações ao parâmetro T3, isto é, enxaguamento, poderão contribuir para a otimização do ciclo de lavagem dos biofiltros. De facto, a diminuição do T3 em cerca de 10%, com a correspondente poupança de água, não parece afetar a eficiência do ciclo de lavagem;
- O facto do período em que foram efetuadas as alterações processuais aos parâmetros T1, lavagem só com água e T3, enxaguamento, ter coincidido com um período de pluviosidade acentuada, com a concomitante repercussão nas condições de afluências à ETAR de Alcântara, quer quantitativas, quer qualitativas, poderá ter introduzido algum “ruído” nos resultados obtidos, pelo que a análise dos resultados obtidos e respetivas conclusões deverão ser considerados com as devidas cautelas;
- A alteração da velocidade, nomeadamente a sua redução, como forma de se procurar contribuir para a otimização dos ciclos de lavagem, isto é, consumir-se um menor volume de água por ciclo, não permitiu a obtenção de eficiências suficientemente elevadas. Deste modo, não deverá ser considerada;
- A análise dos parâmetros diários de colmatção, expansão e perda de carga dos 15 filtros, parece indiciar que poderá estar a ocorrer fuga de meio filtrante para o efluente tratado;
- Os biofiltros 7, 8, 9 e 11 registaram um desempenho inferior comparativamente com os restantes.

7. Trabalhos Futuros

De acordo com o trabalho efetuado admite-se que seja relevante a sua continuação, nomeadamente:

- Aplicação de uma metodologia idêntica à desenvolvida, mas alargando a outros parâmetros da operação.
- Propõe-se, de acordo com a tabela seguinte, que sejam avaliadas as repercussões nos ciclos de lavagem da velocidade do ar, bem como o número de repetições e duração de cada fase (T2).

Tabela 7.1 - Proposta de trabalhos futuros para caudal de ar

Trabalhos futuros							
Q Ar		ATUAL	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5
Repetições	nº	3	2	3	3	2	2
Velocidade	m3/h	12	12	10	10	10	10
Tempo atual (T2)	s	180	210	180	160	220	250
Volume ar gasto em T2	m3	129	150,5	107,5	95,6	131,4	149,3
Volume ar gasto Lavagem I BF		387	301	322,5	286,7	262,8	298,6
Volume ar gasto I5BF		5805	4515	4838	4300	3942	4479
Redução	%		22	17	26	32	23

- Otimização do consumo de oxigénio nos biofiltros;
- Repetição dos cenários 3 (T1 = 140 segundos) e 5 (T3 = 270 segundos), aumentando a escala temporal de análise;
- Pelo facto do presente estudo ter sido efetuado maioritariamente em tempo húmido, admite-se que seja relevante a sua repetição em tempo seco.

8. Referências bibliográficas

- AEAG, AEAP, AELB, AERM, AERMC, AESN, MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT, CEMAGREF, FNDAE, AGENCE DE L'EAU RHONE MEDITERRANEE CORSE (1995). *L'Épuration par Biofiltration*. Agence de l'eau Rhône Méditerranée et Corse.
- Agence de l'eau et ministère de l'environnement (1994). *L'assainissement des agglomérations : techniques d'épuration actuelles et évolutions*. Cahier technique, 27 : 89-90
- Albuquerque, A., Garcia, M., Santa, F., (2004). *Influência das condições de arejamento na variação do estado quase estacionário e na evolução da perda de carga num biofiltro - 11º Encontro Nacional de Saneamento Básico*.
- Annual Report Sanitary Engineering, 2010.
- Arvin, E. & Henze, M., (2001). *Wastewater treatment: Biologic and chemical processes*. 3rd edition, Springer.
- Canler, J. P. and Perret, J. M. (1994). Biological aerated @lters: assesment of the process based on 12 sewage treatment plants. *Water Science Technology* 29, 13±22
- Costa, R., (2007), *Modelo de localização de sistemas de águas residuais*. Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência e Sistemas de Informação Geográfica, Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação da Universidade Nova de Lisboa.
- Chaudhary, D., Vigneswaran, S., Ngo H., Shim, W., Moon, H., (2003). *Biofilter in Water and Wastewater Treatment*. *Korean Journal of Chemical Engineering.*, 20(6), 1054-1065.
- Doutor, J., (2008), *Tecnologia Nereda™ aplicada à ETAR de Frielas*. Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente – Perfil de Sanitária, Lisboa.
- Evans, L., (2003). *Biofilms: Recent Advances in their Study and Control*. CRC Press.
- E, Vigne., JM Choubert, JP Canler., A Heduit., KH Sørensen., P, Lessard.,(2011). *The role of loading rate, backwashing, water and air velocities in an up-flow nitrifying tertiary filter*. *Bioresource Technology*. 2011 Jan;102(2): 904-12.
- Fernandes, C., (2008). *Modelação hidráulica de exploração de um sistema elevatório de águas residuais*. Relatório de Projecto submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de

Mestre em Engenharia Civil – Especialização em Hidráulica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Ferreira, R., (2010). *Optimização do tratamento por lamas activadas do efluente líquido do mundo têxtil*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia química – tecnologias de protecção ambiental, Instituto superior de Engenharia do Porto.

Forster, C., (2003). *Wastewater Treatment and Technology*. Thomas Telford Limited 120 – 146.

Harremões, P. and Henze, M. (1995). *Biofilters In Wastewater Treatment: Biological and Chemical Processes*, edited by Henze, M., pp 143-193, Springer-Verlag, Berlin.

Hall, A., (1999), *A comparative analysis of three biofilter types treating wastewater produced in recirculating aquaculture systems*. Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University for the degree of master of science.

Inditex, (2015). *Biological aerated filters (FS-BIO-006), Series: Secondary Treatments, Technology fact sheets for effluent treatment plants of textile industry*. Universidade da Coruña, Maio de 2015.

Kandasamy, J., Vigneswaran, S., Hoang, T. T. L., Chaudhary, D. N. S.,(2008). *Adsorption and Biological Filtration in Wastewater Treatment*. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), Australia.

Kumar, K., Sridevi, V., Harsha, N., lakshmi, M., Rani, K., (2013). *Biofiltration and its application in treatment of air and water pollutants - A review*. International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management, Vol 2, Issue 9, September 2013, ISSN 2319 – 4847.

Luizi, R., (2012). *Operação de sistemas de tratamento de águas residuais por lamas activadas com arejamento prolongado*. Dissertação para obtenção do grau de mestre em engenharia civil, Instituto Superior Técnico, Março de 2012.

MANO, A., (1996). *Contribuição para o estudo do processo de desnitrificação em reactores biológicos de filme fixo*. Tese de Douramento em Engenharia Sanitária, Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa

Mendoza-Espinosa, L, Stephenson, T., (1999). *A review of biological aerated filters (BAFs) for wastewater treatment*. Environ. Eng. Sci. 1999; 16: 201-216.

Melo, L., (1996). *Tratamento biológico de água e efluentes líquidos: Biomassa fixa versus biomassa em suspensão*. Universidade de Aveiro.

- Metcalf & Eddy. (2004). *Wastewater Engineering – Treatment and Reuse*, 5ª edição, Mc-Graw-Hill., International Edition 2014, Volume 1, 1026-1042. révisée par T. Chobanoglous G. , Burton F. L. et S tensel H. D. McG Raw Hill .
- Moffa, P., (1997). *The Control and treatment of combined sewer overflows*. 2nd edition, August 1997.
- Mourato, F., (2015). *Otimização do doseamento de reagentes na Decantação Primária*. Dissertação para obtenção do grau de mestre em engenharia química e bioquímica, Universidade Nova de Lisboa, Outubro de 2015.
- Osorio, F., Hontoria, E., (2001). *Optimization of bed material height in a submerged biological aerated filter*. Journal of Environmental Engineering, 2001, 974-978.
- Poquillon, P., Petit, J., (1989). *Practical basis of nitrification in aquaculture waste-water AQUACULTURE- A BIOTECHNOIOGYIN PROGRESS*. European Aquaculture Society, Bredene, Belgium.
- Poughon, L., Dussap, C., Gros, J., (1998). *Dynamain model of a nitrifying fixed bed column: Simulation of the biomass distribution of Nitrosomonas and Nitrobacter and of transient behavior of the column - Bioprocess Engineering*. Springer-Verlag 1999, 209-221.
- Pramanik, B., Fatihah, S., Shahrom, Z., Ahmed, E., (2012). *Biological aerated filters for carbon and nitrogen removal: A review*. Journal of Engineering Science and technology, Civil and Structural Engineering department, Faculty of Engineering and Built Environment, Universiti Kebangsaan Malaysia, vol 7, No.4 [428-446].
- Gonçalves, R., Andrade, C., Pedro, N., Zaiat, M., (2005). *Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por reatores com biofilme*.
- Rittmann, B. et McCarty, P. (2011). *Environmental Biotechnology: Principles and Applications*. McGraw-Hill.
- Rocher, V., (2007). *La biofiltration des eaux usées: comparatif technique et économique de différentes configurations de traitement*. La Houille de Blanche/N°01-2007.
- Rocher, V., Paffoni, C., Gonçalves, A., Guérin, S., Azimi, S., Gasperi, J., Moileron, R., Pauss, A., (2012). *Municipal wastewater treatment by biofiltration: comparisons of various treatment layouts. Part 1: assesement of carbon and nitrogen removal*. Water Science and Technology 65(9):1705-1712.
- Ribeiro, E., (2001). *Noções sobre qualidade da água, disciplina de Saneamento Ambiental I*. Instituto Superior Técnico.

- Rojo, J., (2007). *Aplicación de la tecnología de lechos inundados en la descontaminación de las aguas residuales de la industria conservera*. Tesis doctoral, Universidade de Granada.
- Samie, G., (2009). *Modélisation d'une station par biofiltration*. Dissertação para obtenção de grau de mestre em Engenharia Civil, Université Laval.
- Sousa, E., (1990). *Concepção de Sistemas de Drenagem. Água Residual Comunitária. Água Pluvial*, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Sperling, M., (2007). *Activated sludge and aerobic biofilm reactors, Biological wastewater treatment*. vol 5, Aptara Inc., Biological Wastewater Treatment Series, IWA Publishing, Alliance House, London. [121-176]
- Sprouse, G., (2008). *Analysis of a full-scale high-rate activated sludge system and second stage nitrifying biological aerated filter using modeling methods and fluorescent in-situ hybridization*. Ph.D., Northwestern University.
- Strikauska, S., Zarina, D., Mutere, O., Viesturs, U., Berzins, A., (2007). *Effect of various factors to ammonia biodegradation by two stage biofiltration system*. University of Agriculture, Latvia, Jelgava; Institute of Microbiology and Biotechnology; University of Latvia, Latvia, Riga 3 Latvian State Institute of Wood Chemistry, Latvia, Riga.
- Teixeira, R., (2006). *Remoção de Nitrogénio de efluentes da indústria frigorífica através da aplicação dos processos de nitrificação e desnitrificação em biorreatores utilizados em um sistema de lagoas de tratamento*. Dissertação apresentada ao curso de pós-graduação em engenharia química como requisito parcial para a obtenção do título de doutor em engenharia química, Florianópolis.
- Water Environment Federation: Water Environment Research, 1992-2008, Vol. 64, No. 1 - Vol. 80, No. 12.
- Wang, H., Grad, S., Dong, W., Liu, J., Liu, L., (2011). *Notice of Retraction The Performance of Anoxic Biostyr® (BAF) after Backwashing during a Filter Run*, Harbin Institute of Technology. Shenzhen - China, 12 de Maio de 2011.
- Zuniga, J., (2010). *Simulation and control of denitrification biofilters*. Université Paul Sabatier – Toulouse III, Agosto de 2010.

9. Anexos

Anexo A – Caudal médio mensal afluyente à estação

Tabela A.1. Caudal médio mensal afluyente à biofiltração para o ano de 2015

Caudal Afluyente Biofiltração	
Meses	m ³ /d
Janeiro	154367
Fevereiro	123284
Março	134354
Abril	146561
Maio	131027
Junho	130607
Julho	122971
Agosto	110409
Setembro	125417
Outubro	163516
Novembro	139200
Dezembro	130654

**Anexo B – Colmatação antes e após lavagem para os 15 biofiltros: Outubro
de 2015 – Março 2016**

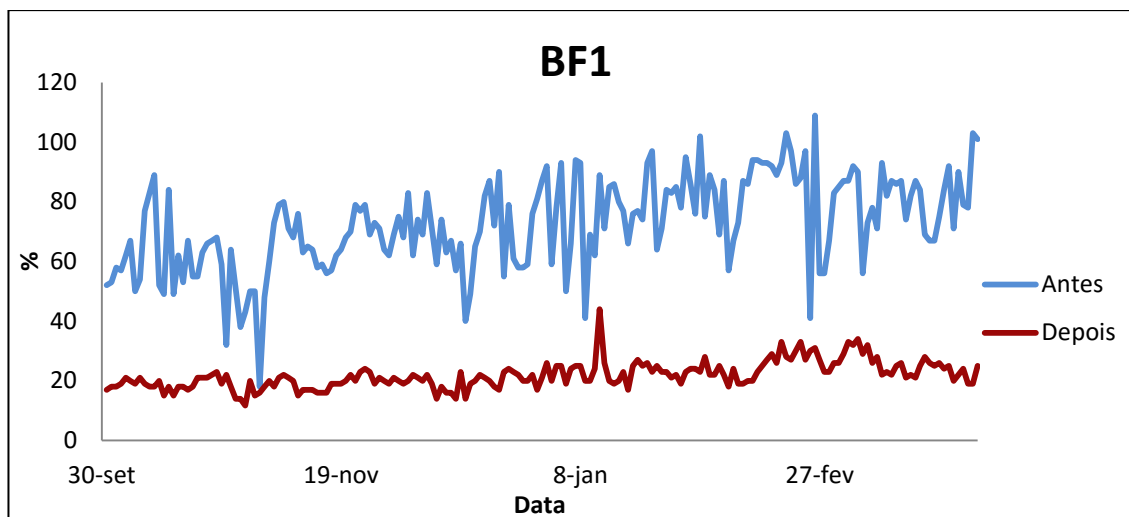


Figura B.1 - Variação da colmatção BF1 no período de Outubro 2015 – Março 2016

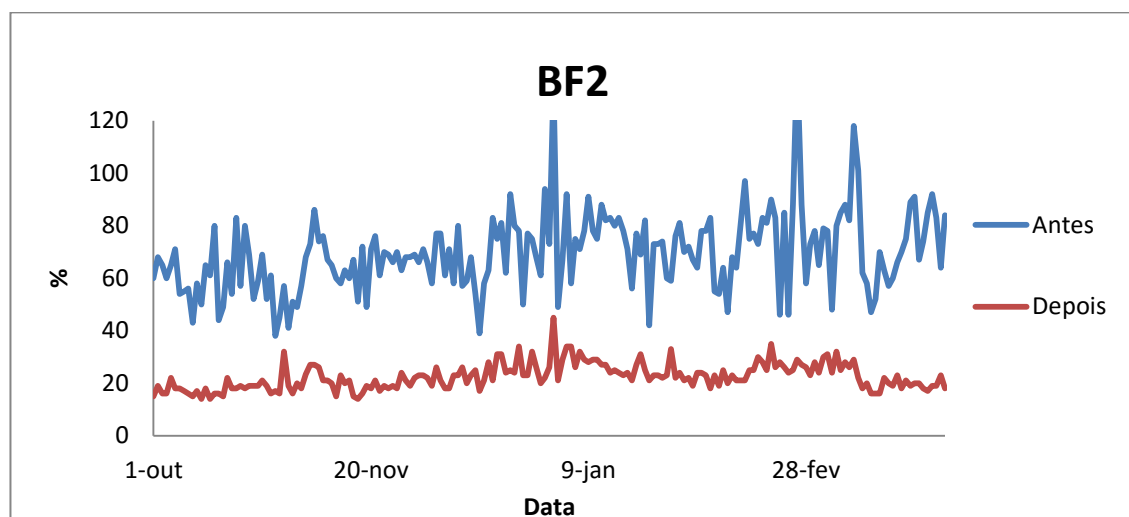


Figura B.2 – Variação da colmatção BF2 no período de Outubro 2015 – Março 2016

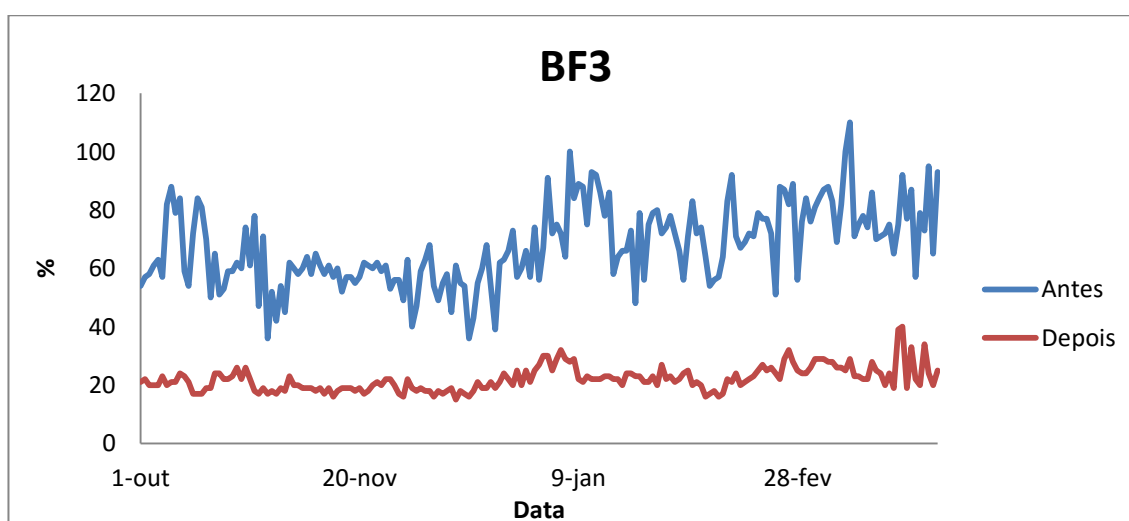


Figura B.3 – Variação da colmatção BF3 no período de Outubro 2015 – Março 2016

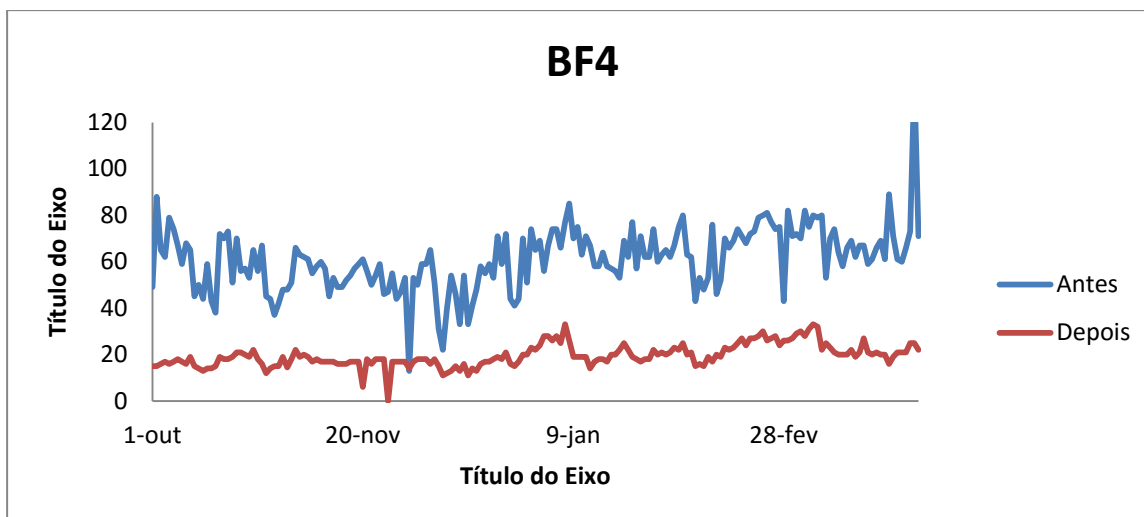


Figura B.4 – Variação da colmatção BF4 no período de Outubro 2015 – Março 2016

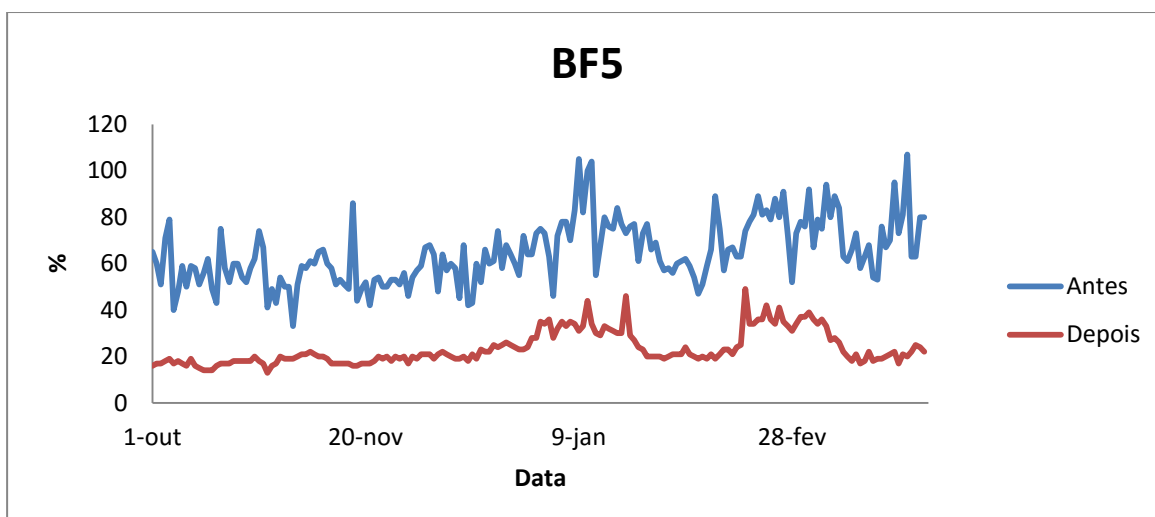


Figura B.5 – Variação da colmatção BF5 no período de Outubro 2015 – Março 2016

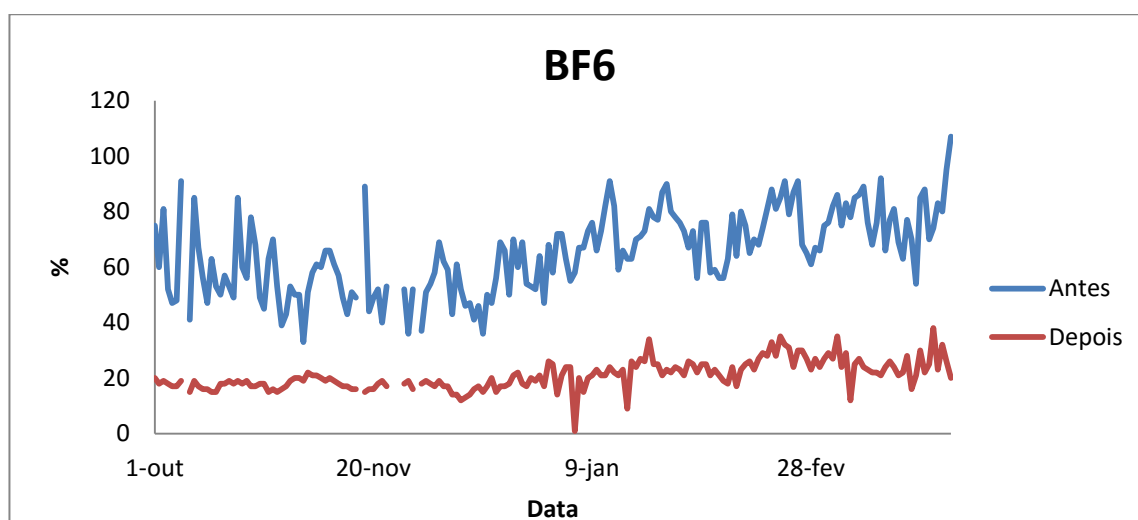


Figura B.6 – Variação da colmatção BF6 no período de Outubro 2015 – Março 2016

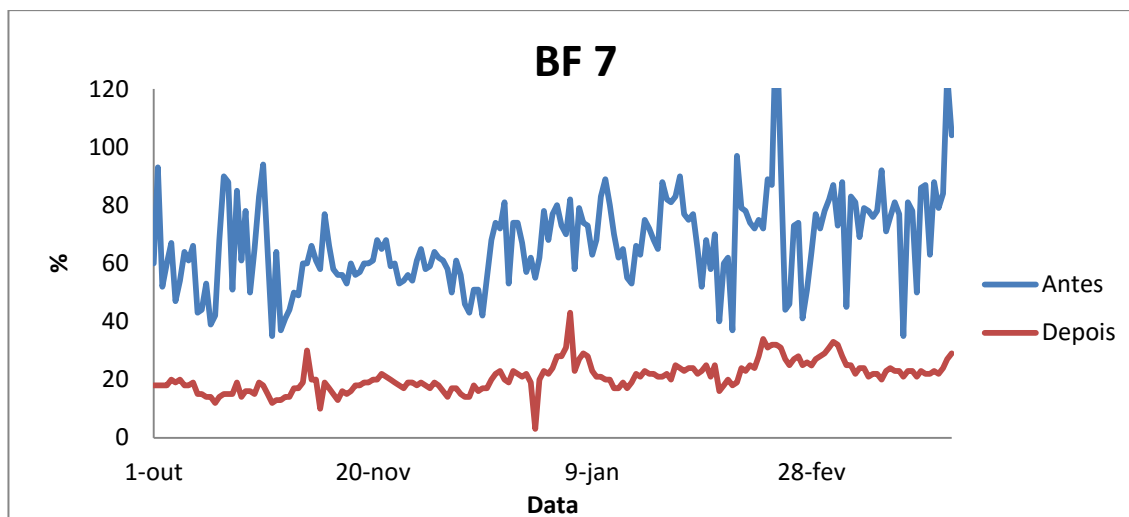


Figura B.7 Variação da colmatção BF7 no período de Outubro 2015 – Março 2016

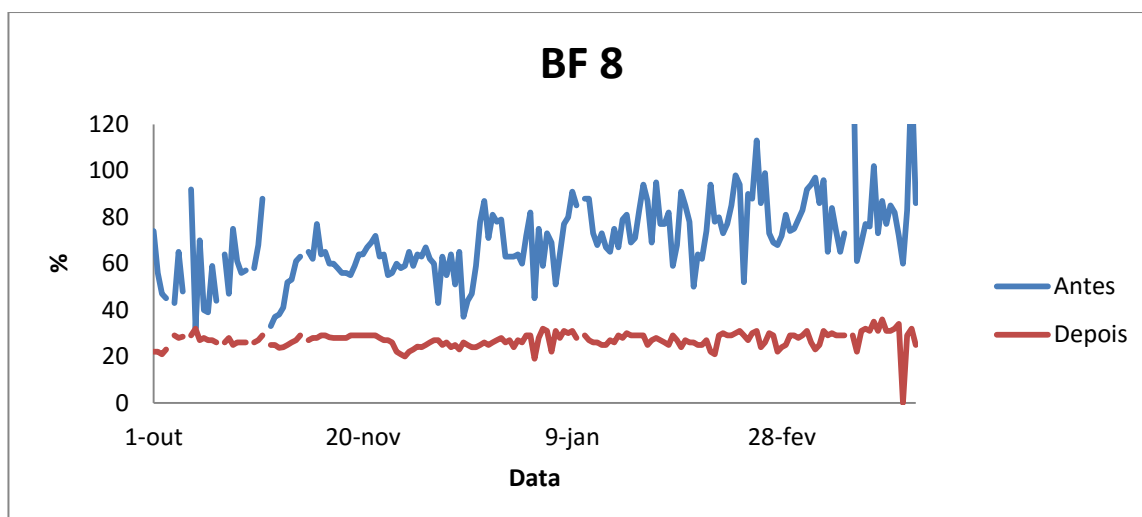


Figura B.8 – Variação da colmatção BF8 no período de Outubro 2015 – Março 2016

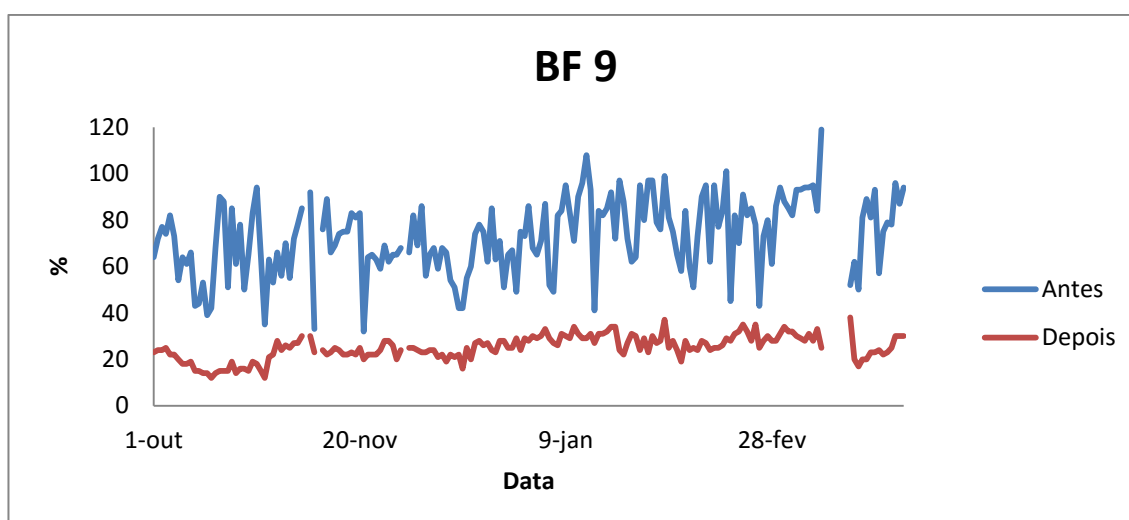


Figura B.9 – Variação da colmatção BF9 no período de Outubro 2015 – Março 2016

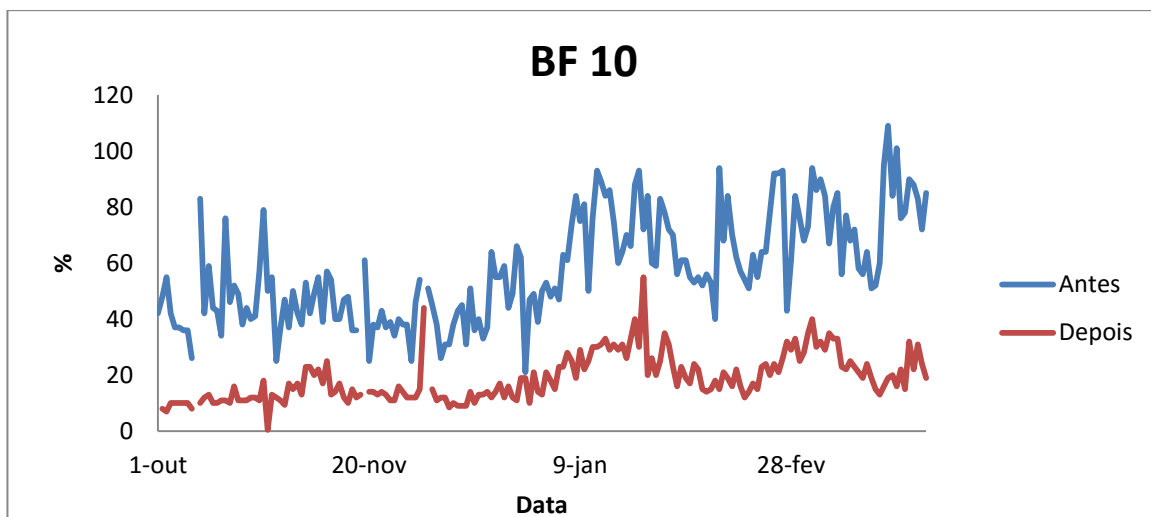


Figura B.10 – Variação da colmatção BF10 no período de Outubro 2015 – Março 2016

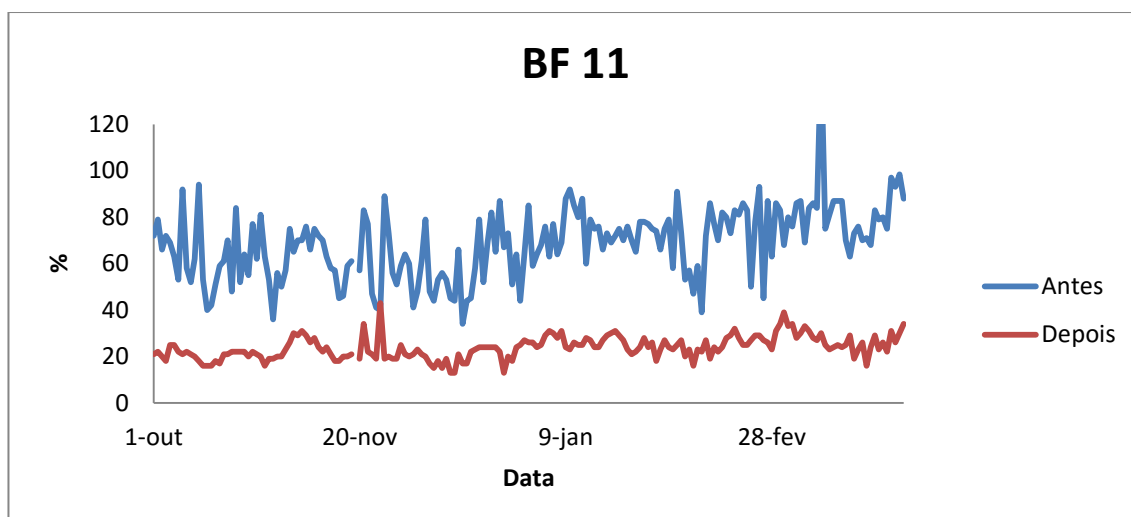


Figura B.11 – Variação da colmatção BF11 no período de Outubro 2015 – Março 2016

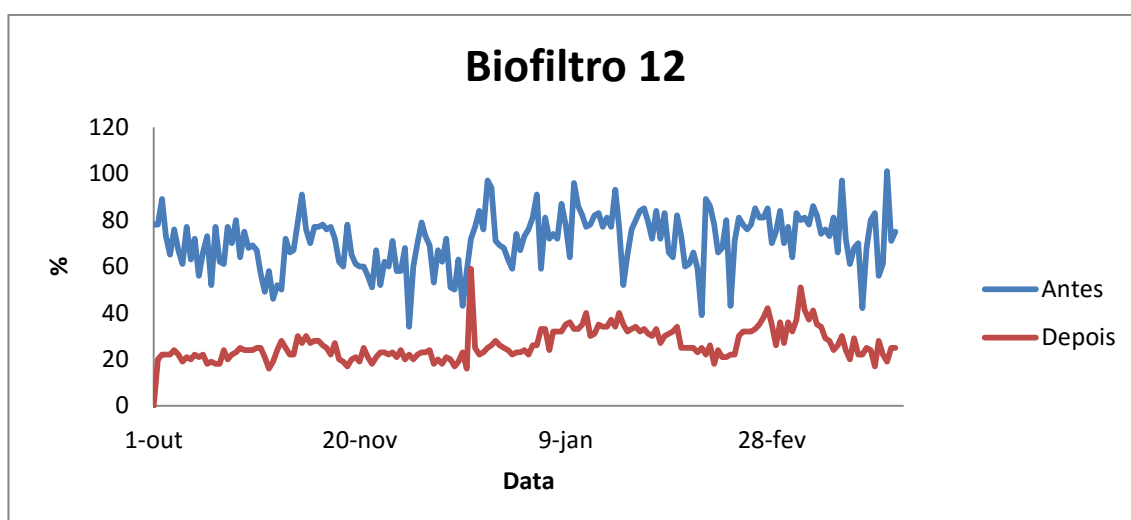


Figura B.12 – Variação da colmatção BF12 no período de Outubro 2015 – Março 2016

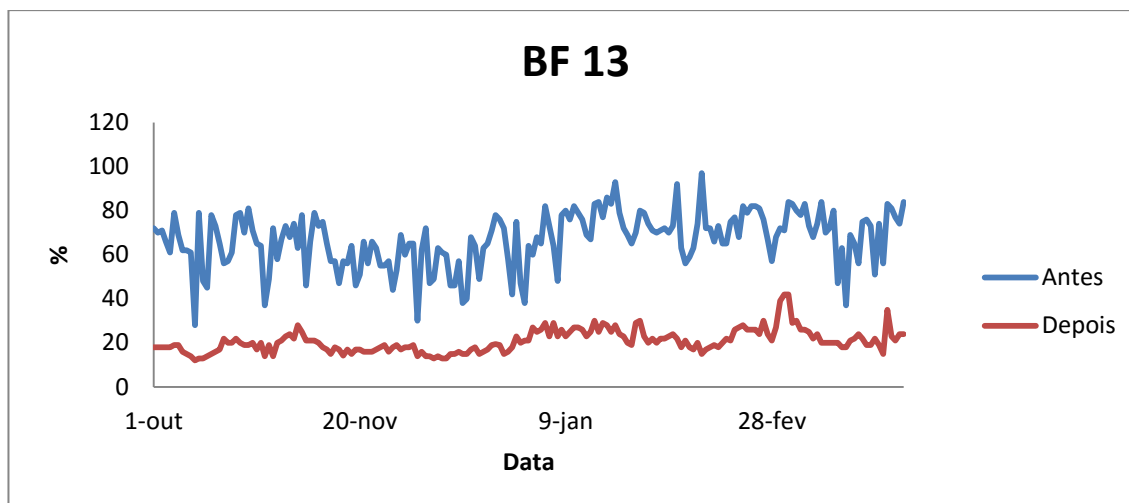


Figura B.13 – Variação da colmatção BF2 no período de Outubro 2015 – Março 2016

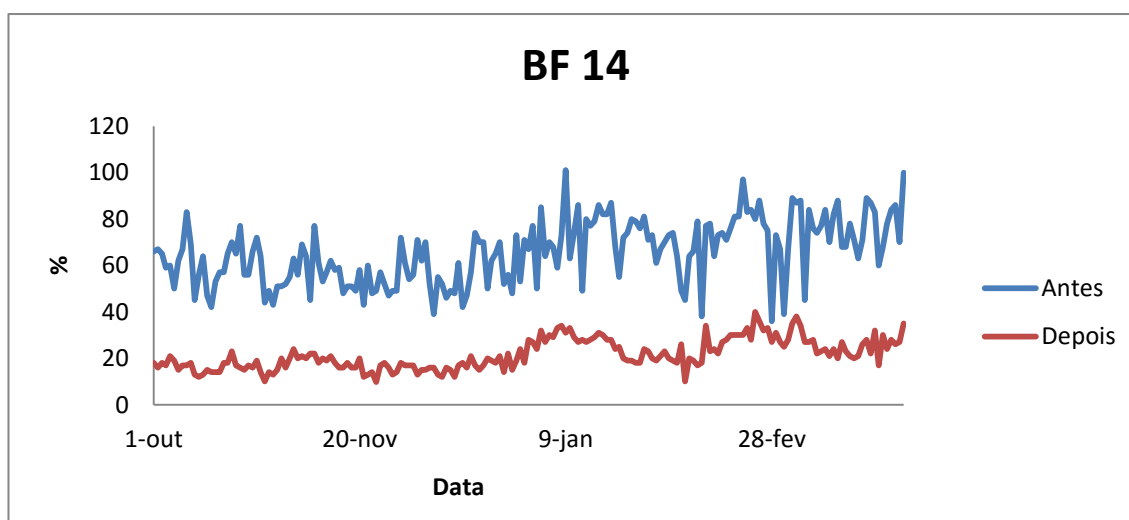


Figura B.14 – Variação da colmatção BF14 no período de Outubro 2015 – Março 2016

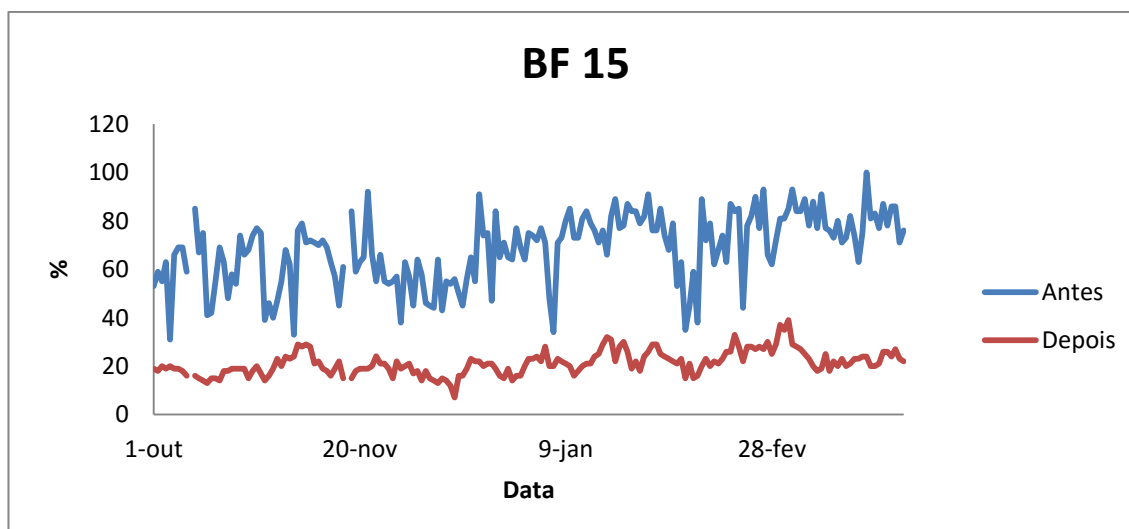


Figura B.15 – Variação da colmatção BF15 no período de Outubro 2015 – Março 2016

**Anexo C – Expansão antes e após lavagem para os 15 biofiltros: Outubro de
2015 – Março 2016**

Biofiltro 1 – Expansão 0 %

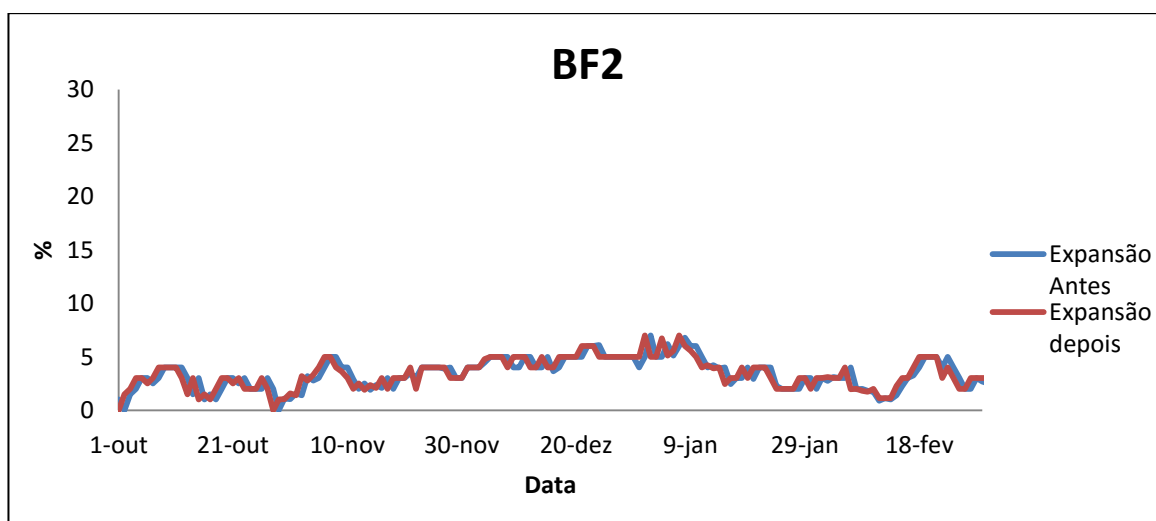


Figura C.1 – Variação da expansão BF2 no período de Outubro 2015 – Março 2016

Biofiltro 3 – Expansão 0 %

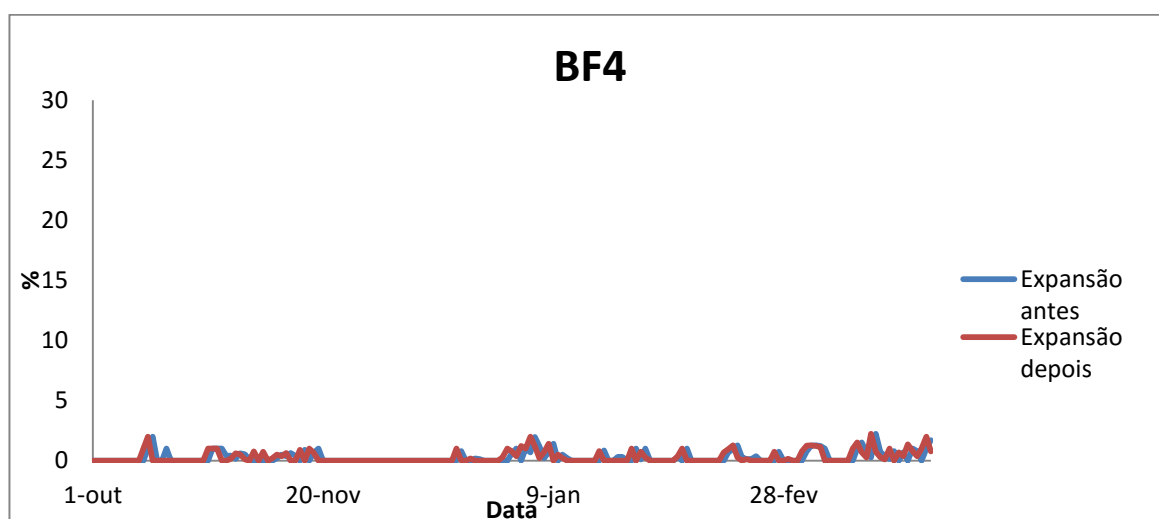


Figura C.2 - Variação da expansão BF4 no período de Outubro 2015 – Março 2016

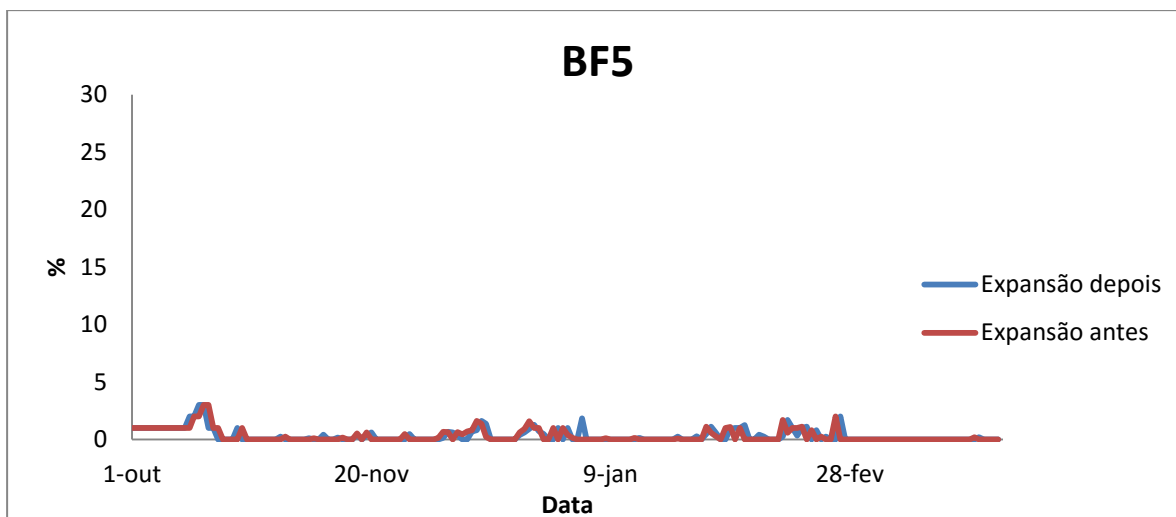


Figura C.3 – Variação da expansão BF5 no período de Outubro 2015 – Março 2016

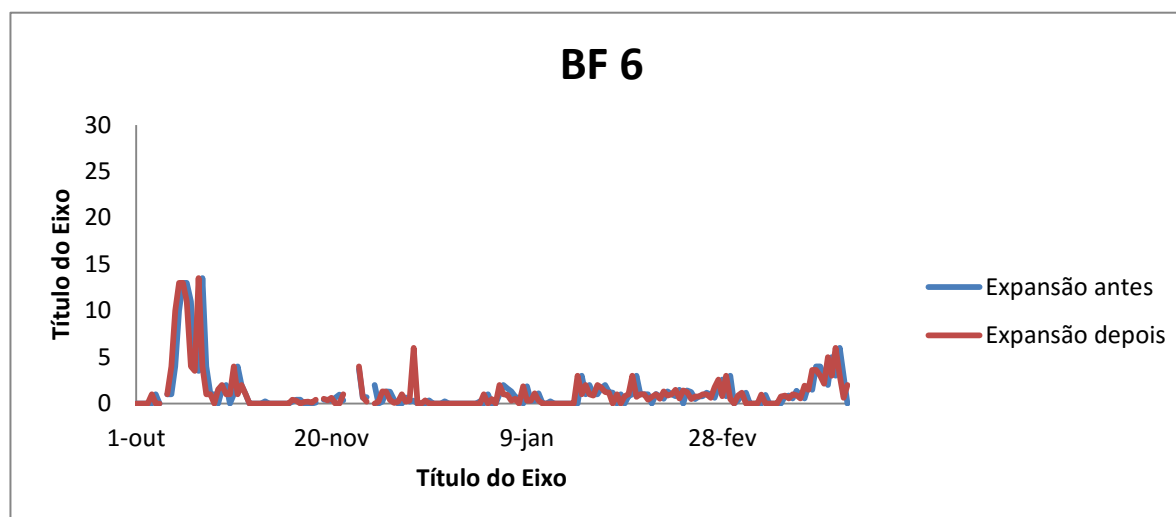


Figura C.4 – Variação da expansão BF6 no período de Outubro 2015 – Março 2016

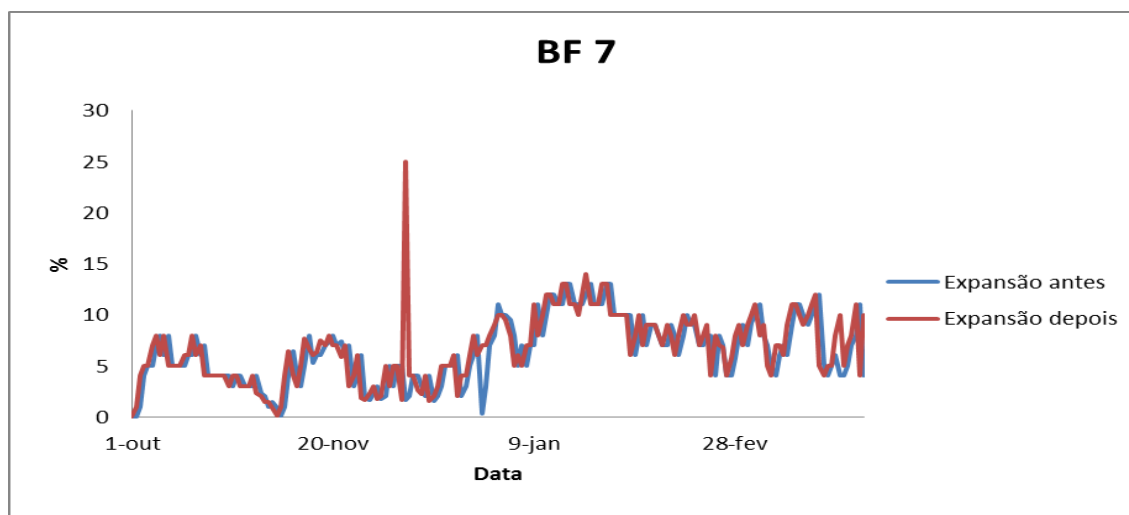


Figura C.5 – Variação da expansão BF7 no período de Outubro 2015 – Março 2016

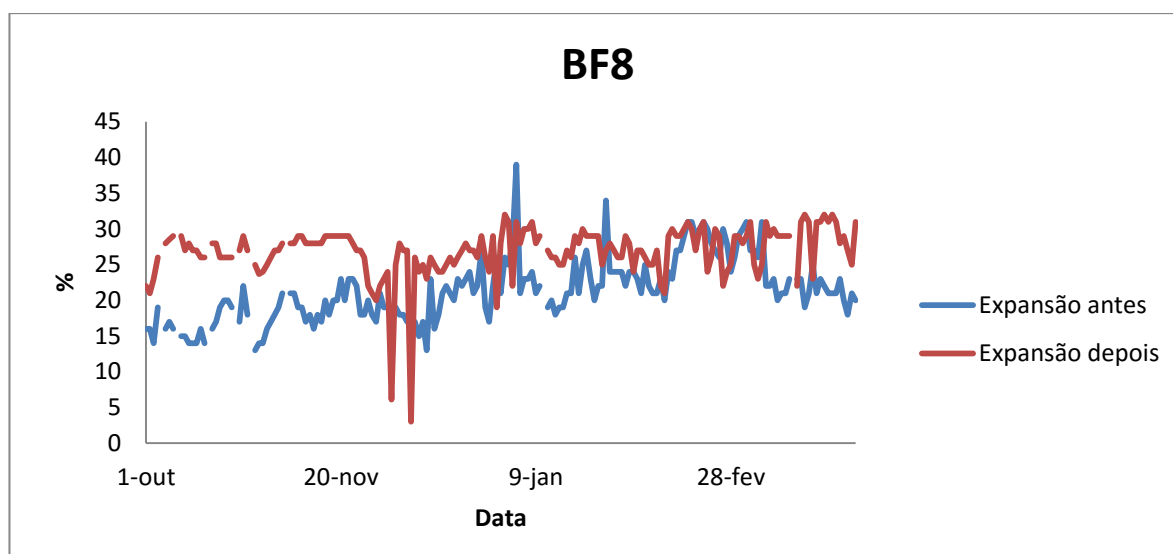


Figura C.6 – Variação da expansão BF8 no período de Outubro 2015 – Março 2016

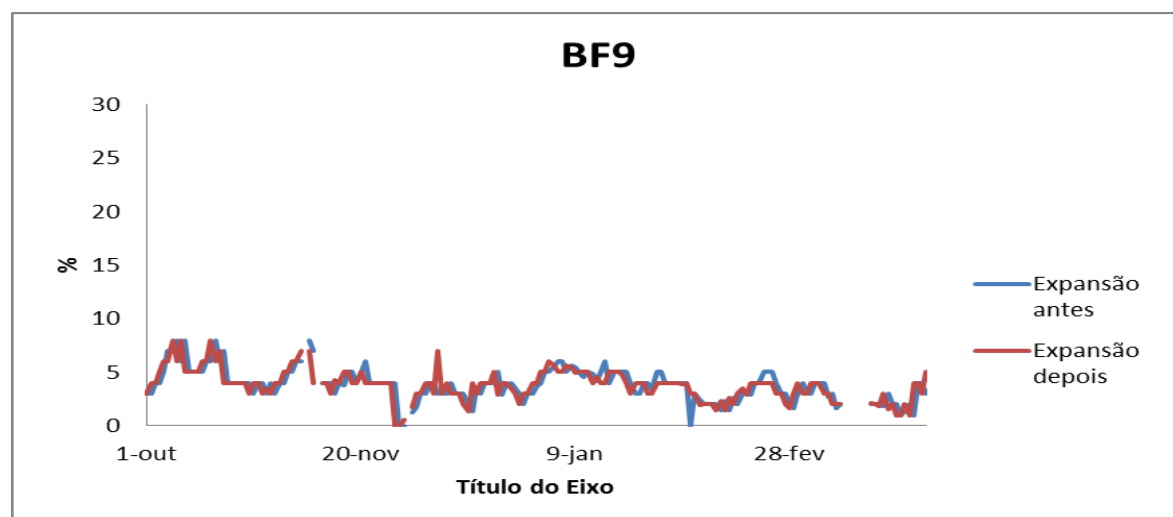


Figura C.7 – Variação da expansão BF9 no período de Outubro 2015 – Março 2016

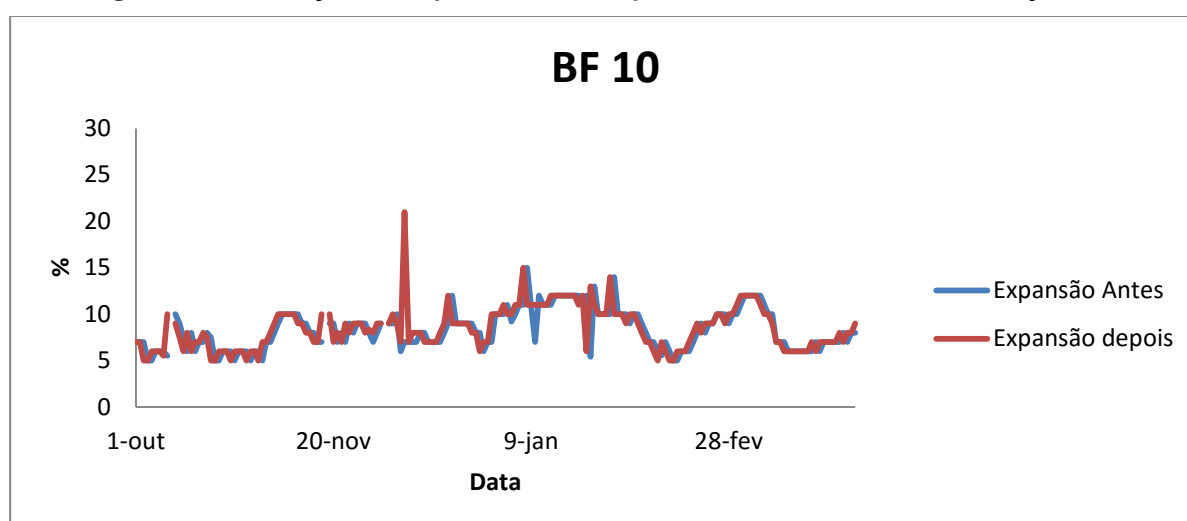


Figura C.8 - Variação da expansão BF10 no período de Outubro 2015 – Março 2016

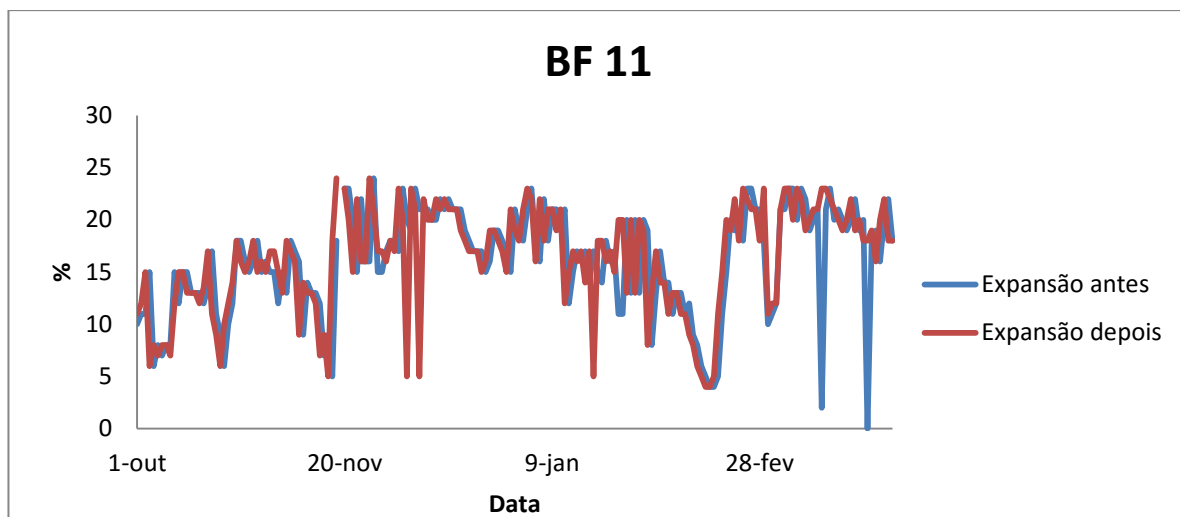


Figura C.9 – Variação da expansão BF11 no período de Outubro 2015 – Março 2016

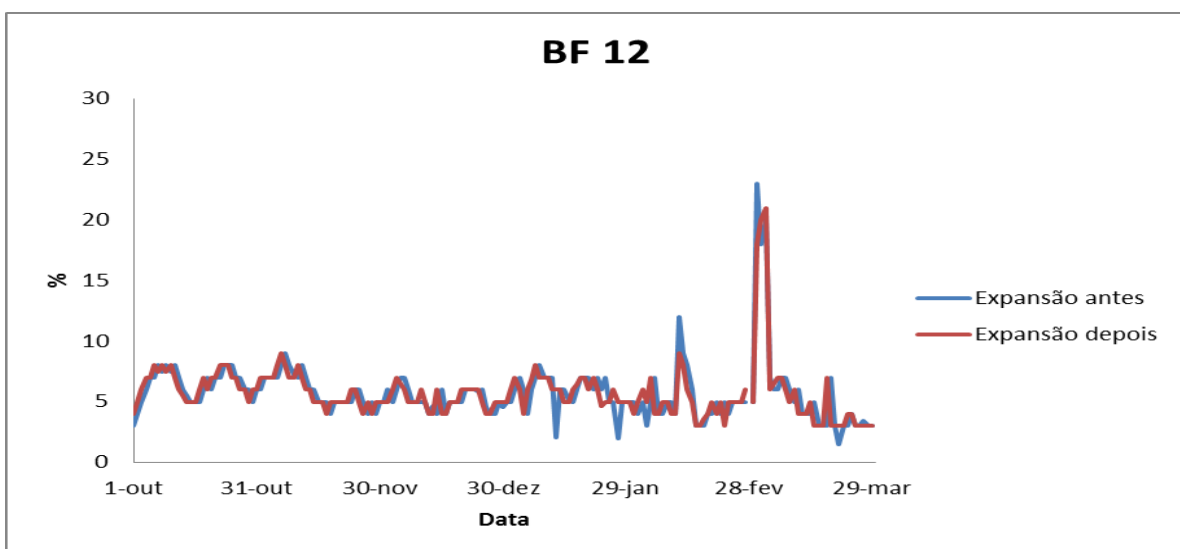


Figura C.10 – Variação da expansão BF12 no período de Outubro 2015 – Março 2016

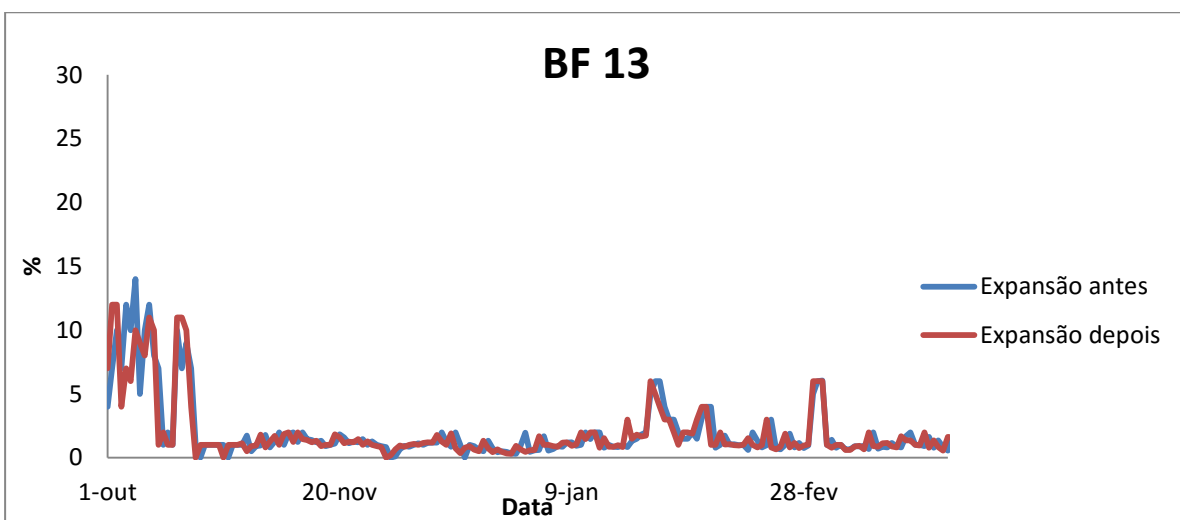


Figura C.11 – Variação da expansão BF13 no período de Outubro 2015 – Março 2016

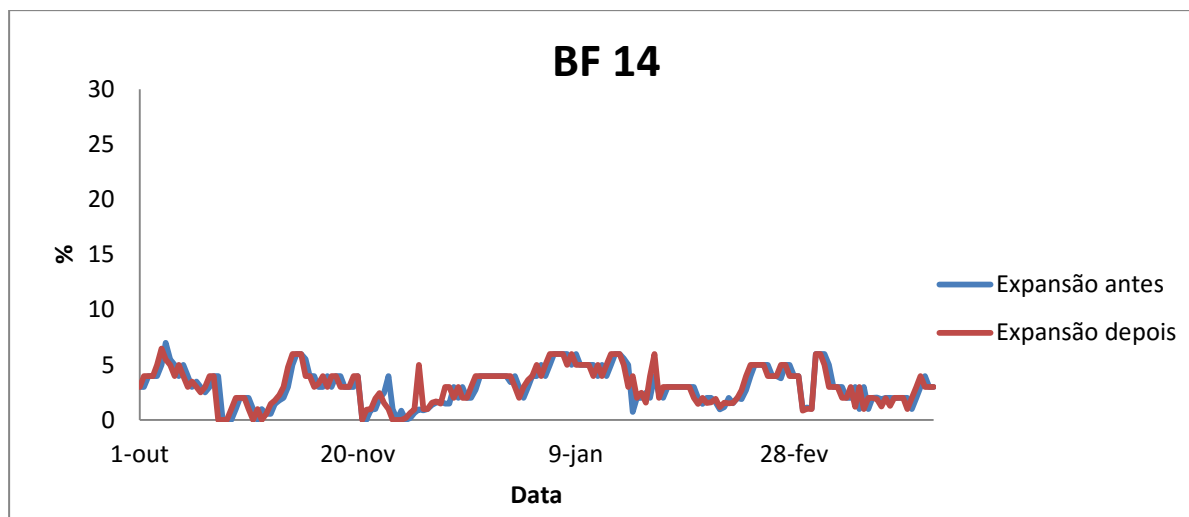


Figura C.12 – Variação da expansão BF14 no período de Outubro 2015 – Março 2016

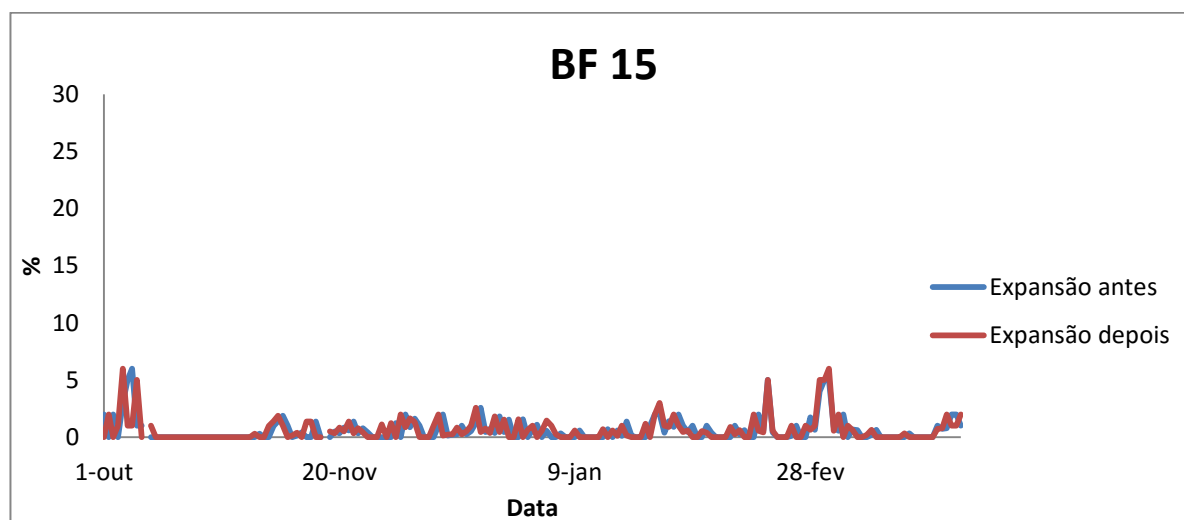


Figura C.13 – Variação da expansão BF15 no período de Outubro 2015 – Março 2016

Anexo D – Medição da Turvação

Anexo D.1. Matriz de acompanhamento da medição de turvação aos 15 biofiltros

Tabela D.1. Matriz de acompanhamento da medição e turvação aos 15 biofiltros

Lavagem		hh:mm	Colmatação	NTU antes	Lavagem hh:mm	hh:mm	NTU após lavagem	NTU saída	Obs.:
00h10	BF1								
3h25	BF2								
6h25	BF3								
9h35	BF4								
12h50	BF5								
16h05	BF6								
19h15	BF7								
22h25	BF8								
1h35	BF9								
4h50	BF10								
8h00	BF11								
11h15	BF12								
14h25	BF13								
17h35	BF14								
20h50	BF15								

Anexo D.2.Turvações - Período da manhã versus Período tarde

Tabela D2.1 - Turvações relativas ao período da manhã versus período tarde

Data	Hora	Turvação saída	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
23-fev	11:00	7,37	5,39	6,16	6,43	6,57	6,55	7,51	6,61	5,19	9	10,8	6,8	16,3	9,63	6,63	5,84
24-fev	12:00	6,65	5,19	4,9	5,5	4,8	6,85	5,61	4,69	4,19	5,03	7,25	6,01	20,16	6,83	5,42	6,03
25-fev	11:30	4,34	4,54	4,4	5,21	5,31	4,83	4,7	4,6	5,2	4,7	6,73	5,41	5,7	6,6	5,29	4,98
26-fev	12:30	14,9	12,3	10,4	15,2	12,3	8,97	9,31	9,11	8,25	11,5	13,5	14,9	20	18,9	30,01	29,45
27-fev	11:30	4,91	2,69	2,72	3,33	3,2	2,92	2,33	2,54	3,53	4,25	6,08	3,35	3,35	3,15	3,43	3,48
01-mar	15:30	8,24	6,24	8,2	6,62	8,35	6,67	6,32	7,85	7,33	7,2	7,76	8,22	6,39	8,1	7,19	8,25
02-mar	16:45	11	8,6	9,26	9,23	9,99	9,52	9,54	10,4	11,5	12,6	11,3	15,3	16,4	16	22	16,2
03-mar	16:00	10,8	7,89	9,01	9,86	10,2	11,4	8,69	7,98	10,5	9,65	10,53	12	10,6	10,78	9,86	10,85
04-mar	16:00	9,25	9,21	8,03	8,97	8,95	9,25	10,4	8,96	8,65	10,8	9,68	11,6	9,96	9,07	9,32	11,36
05-mar	17:00	12,20	8,63	7,7	7	7,96	8,2	7,89	10	9,65	11,89	11,64	9,87	11,02	12,68	8,01	12

Anexo E – Lavagem de Biofiltros

Anexo E.1. Lavagens dos 15 biofiltros

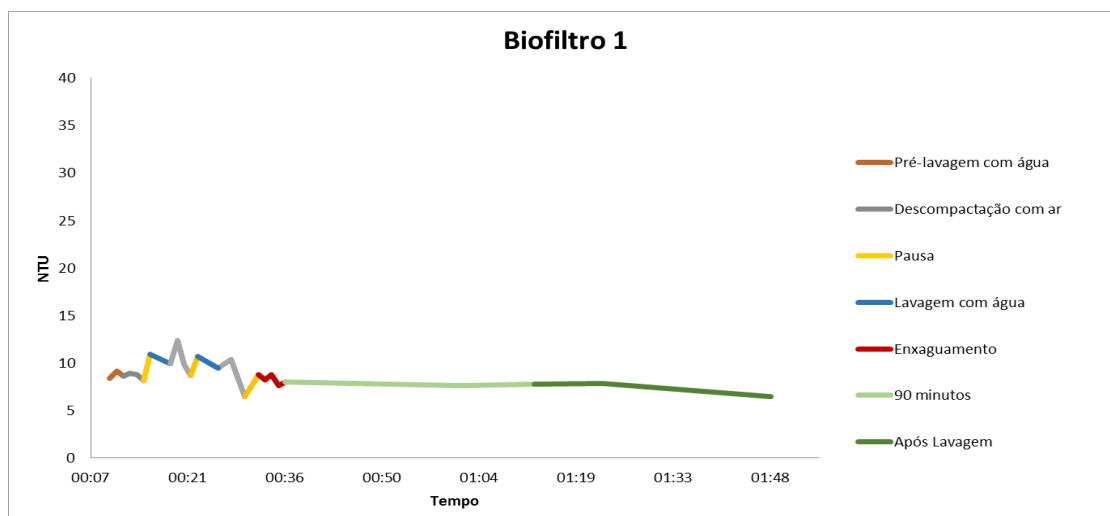


Figura E1.1 – Lavagem do biofiltro 1 – 16 de Março

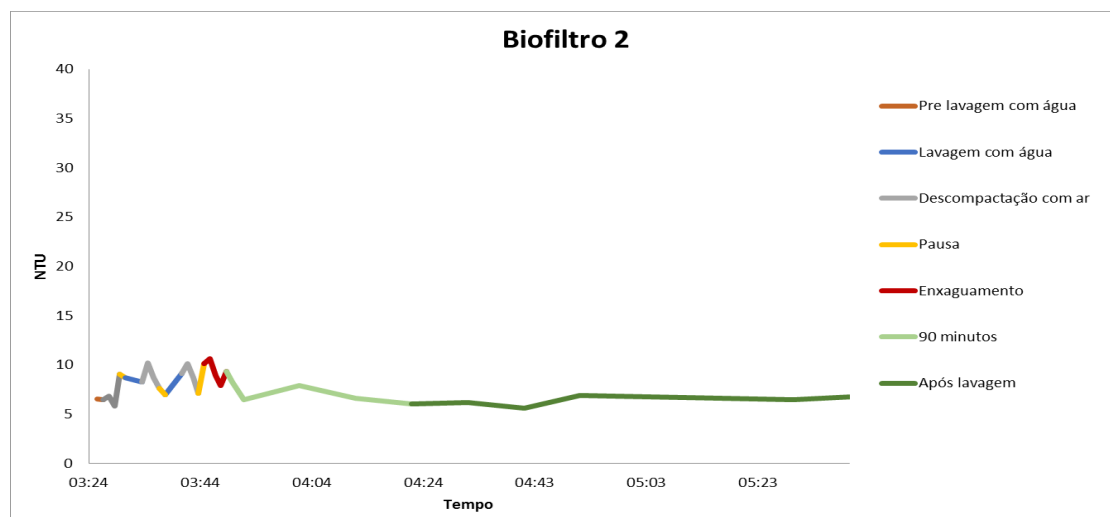


Figura E1.2 - Lavagem do biofiltro 2 – 16 de Março

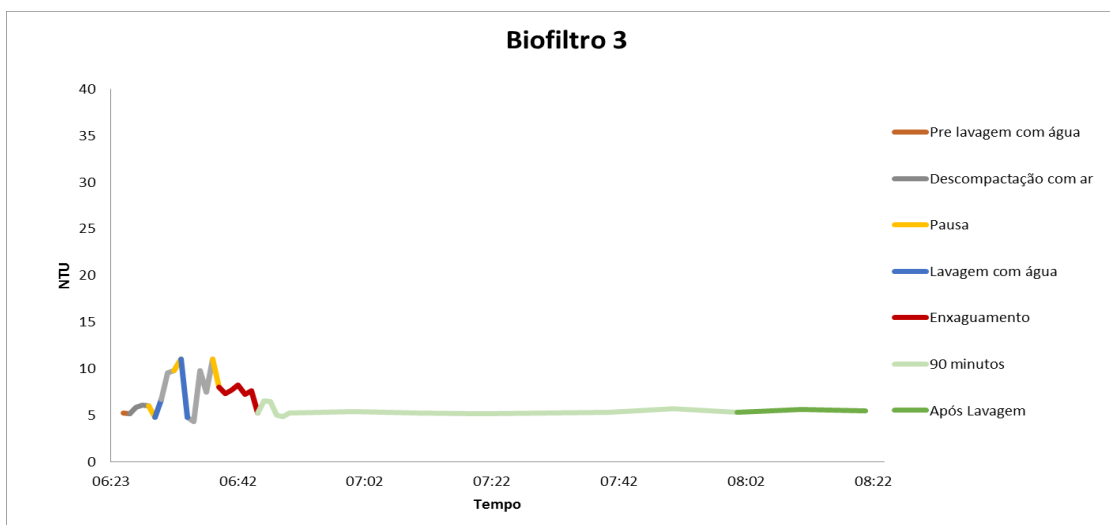


Figura E1.3 – Lavagem biofiltro 3 – 16 de Março

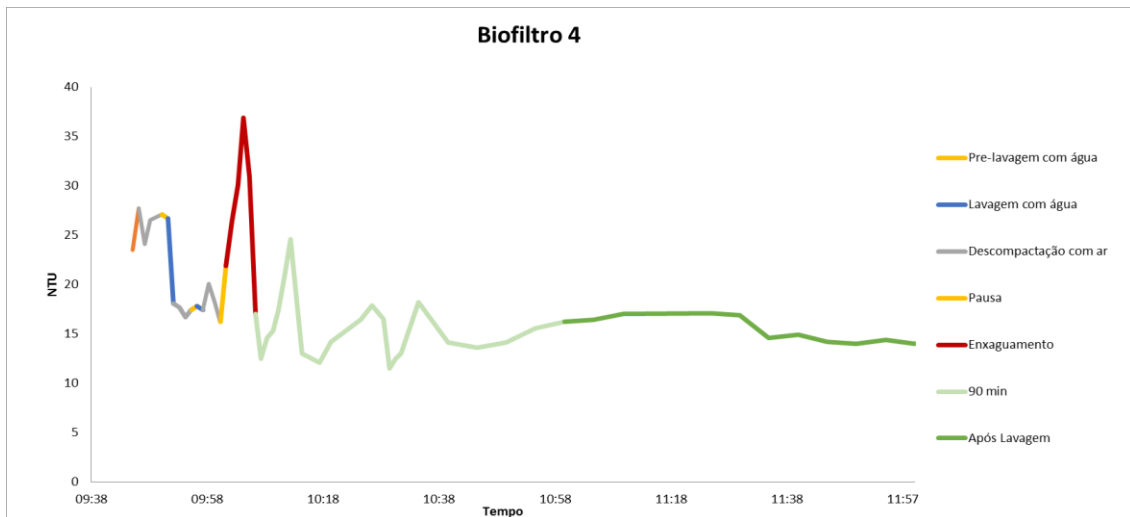


Figura E1.4 – Lavagem biofiltro 4 – 16 de março

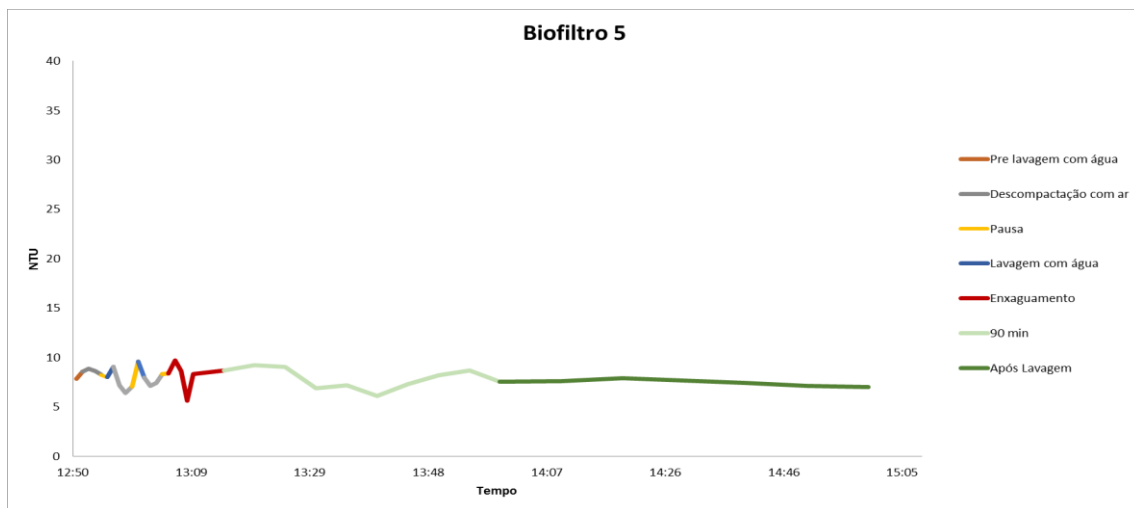


Figura E1.5 – Lavagem biofiltro 5 – 16 de março

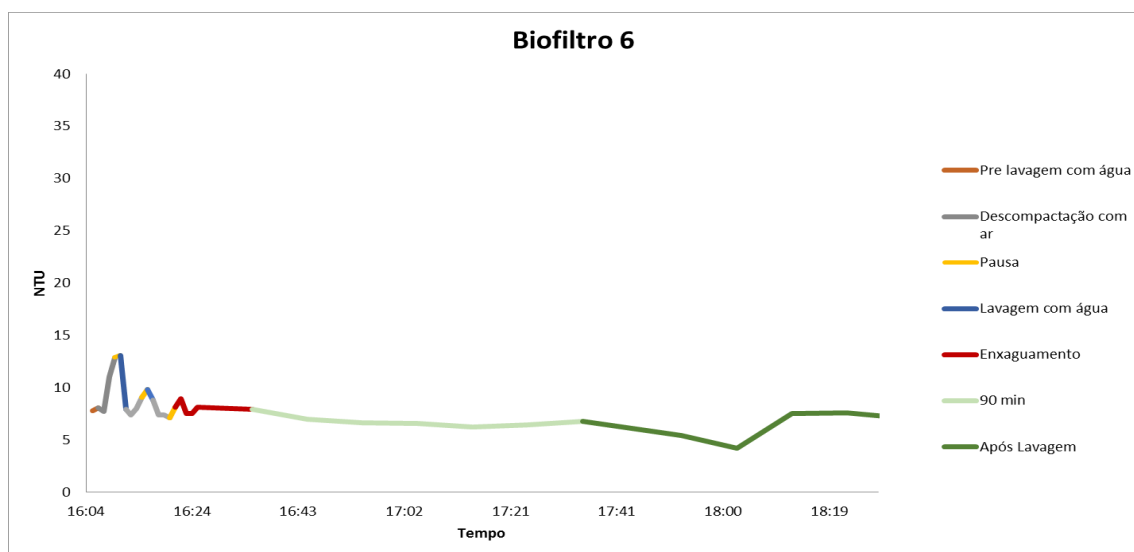


Figura E1.6 – Lavagem biofiltro 6 – 16 de março

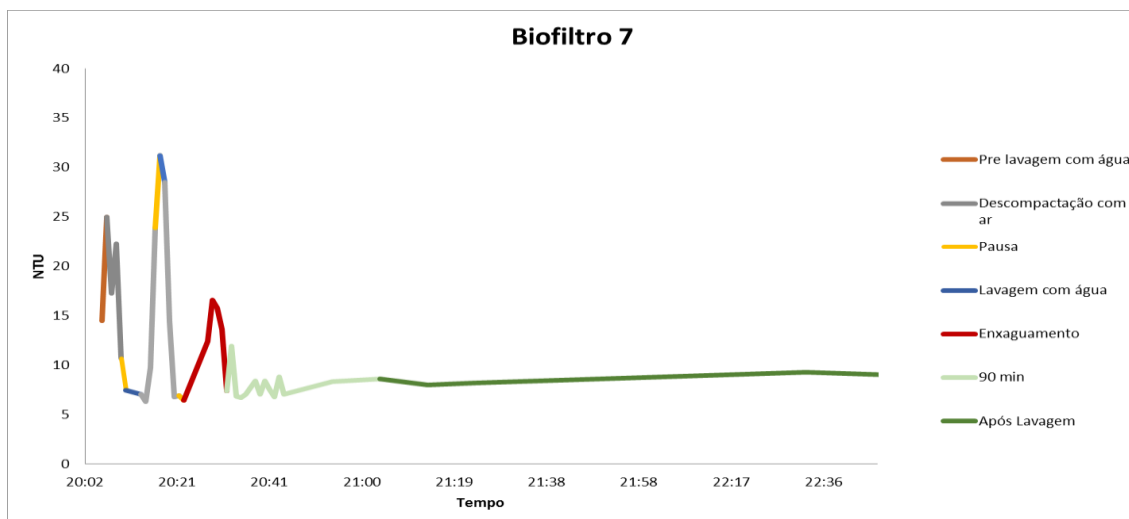


Figura E1.7 – Lavagem biofiltro 7 – 16 de março

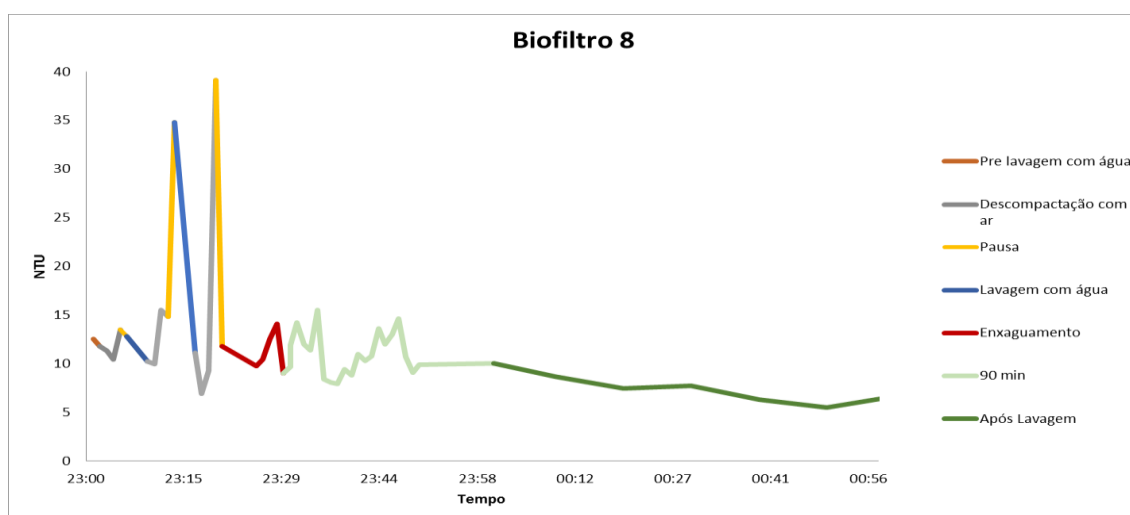


Figura E1.8 – Lavagem biofiltro 8 – 16 de março

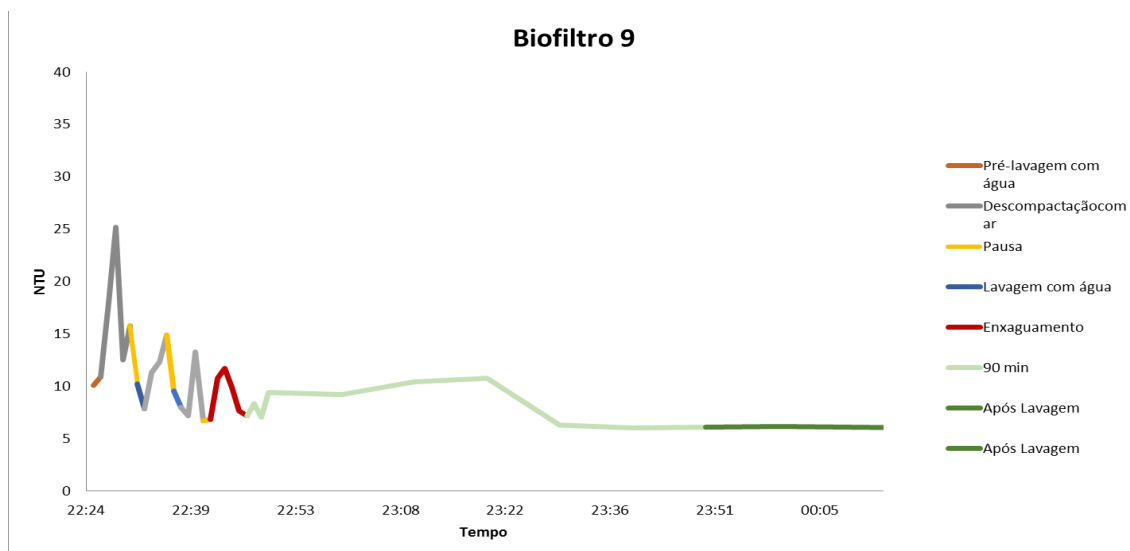


Figura E1.9 – Lavagem biofiltro 9 – 16 de março

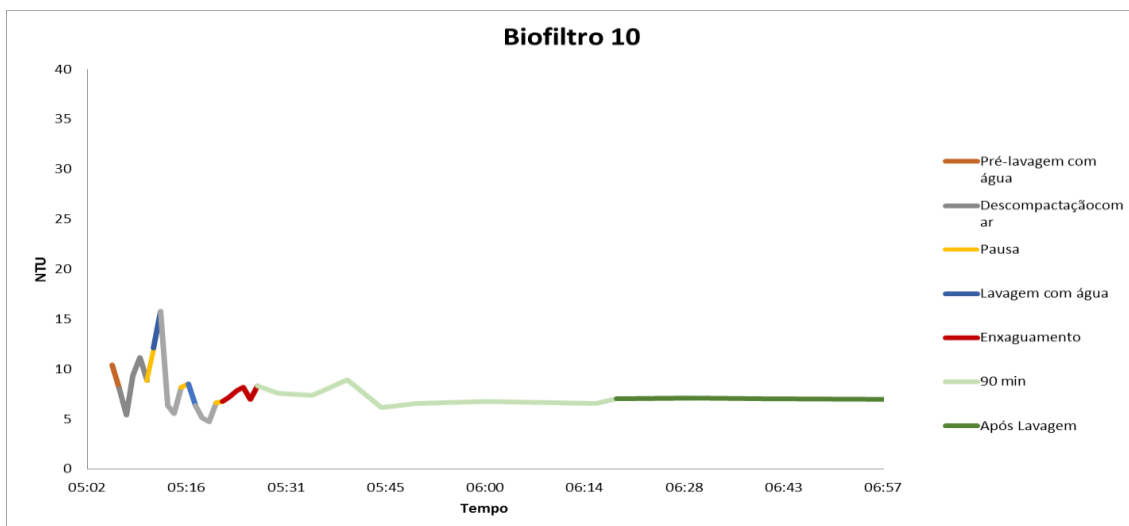


Figura E1.10 – Lavagem biofiltro 10 – 16 de março

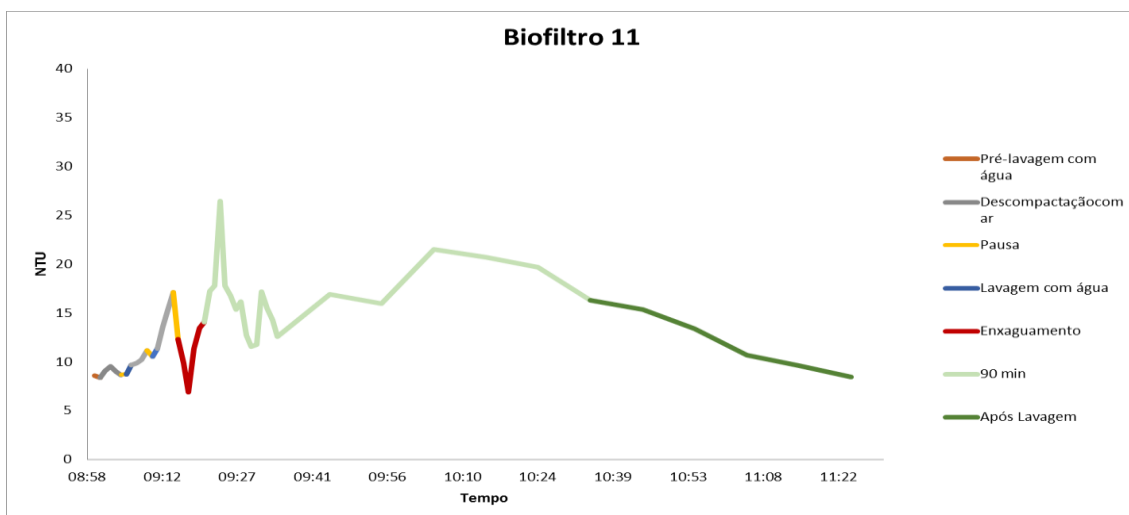


Figura E1.11 – Lavagem biofiltro 11 – 16 de março

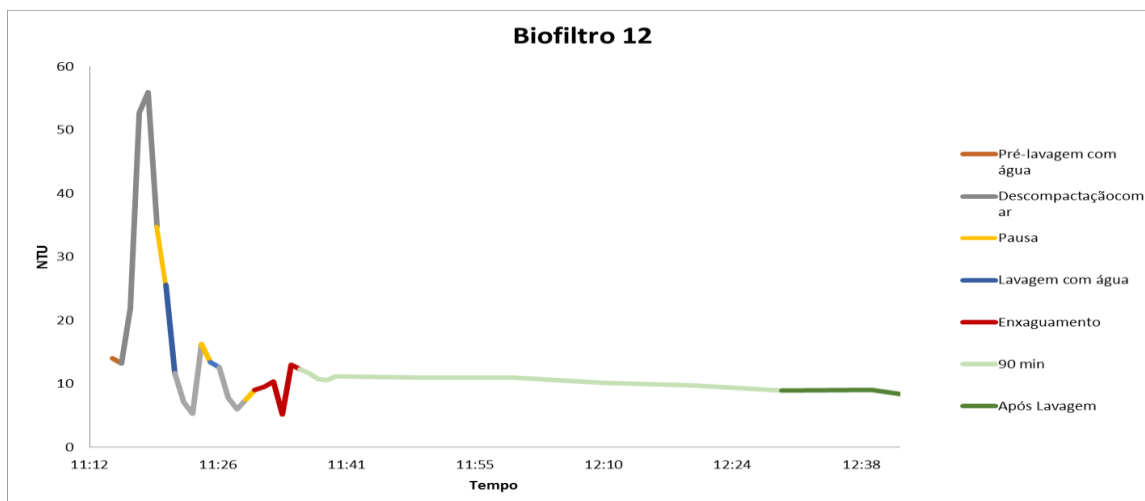


Figura E1.12 – Lavagem biofiltro 12 – 16 de março

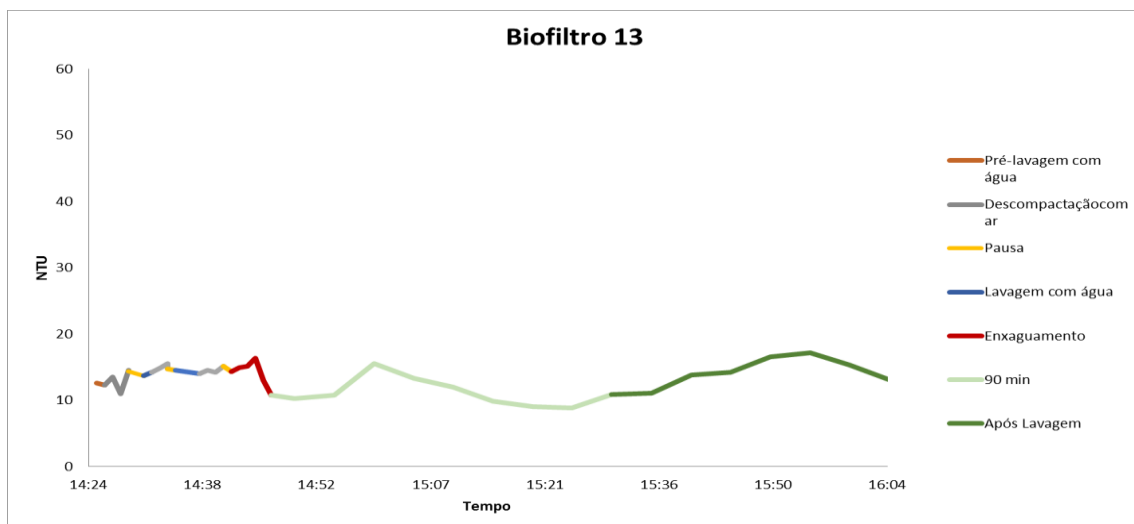


Figura E1.13 – Lavagem biofiltro 13 – 16 de março

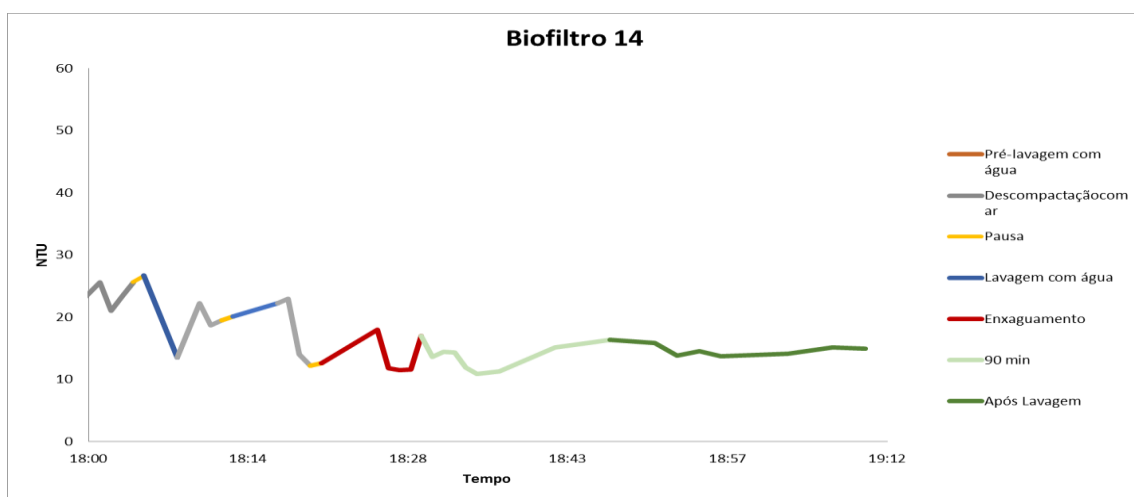


Figura E1.14 – Lavagem biofiltro 14 – 16 de março (1)

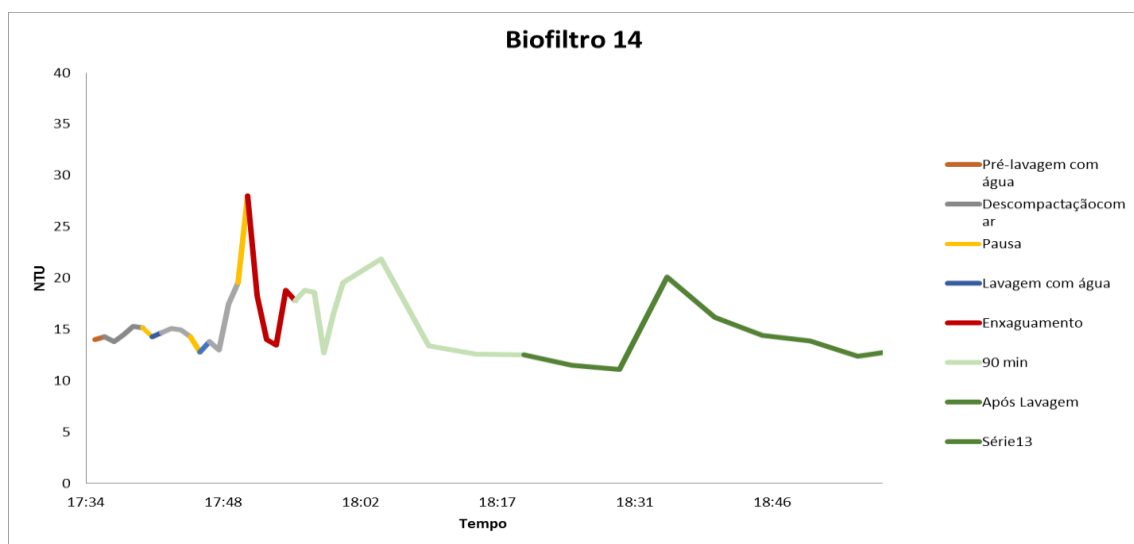


Figura E1.15 – Lavagem biofiltro 14 – 6 de abril (2)

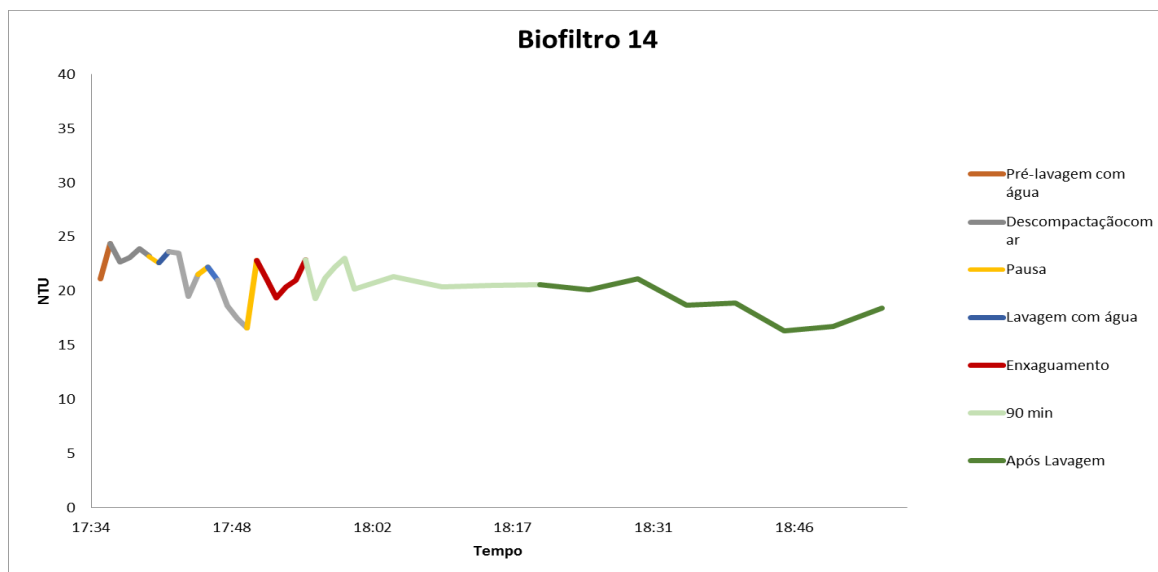


Figura E1.16 – Lavagem biofiltro 14 – 7 de abril (3)

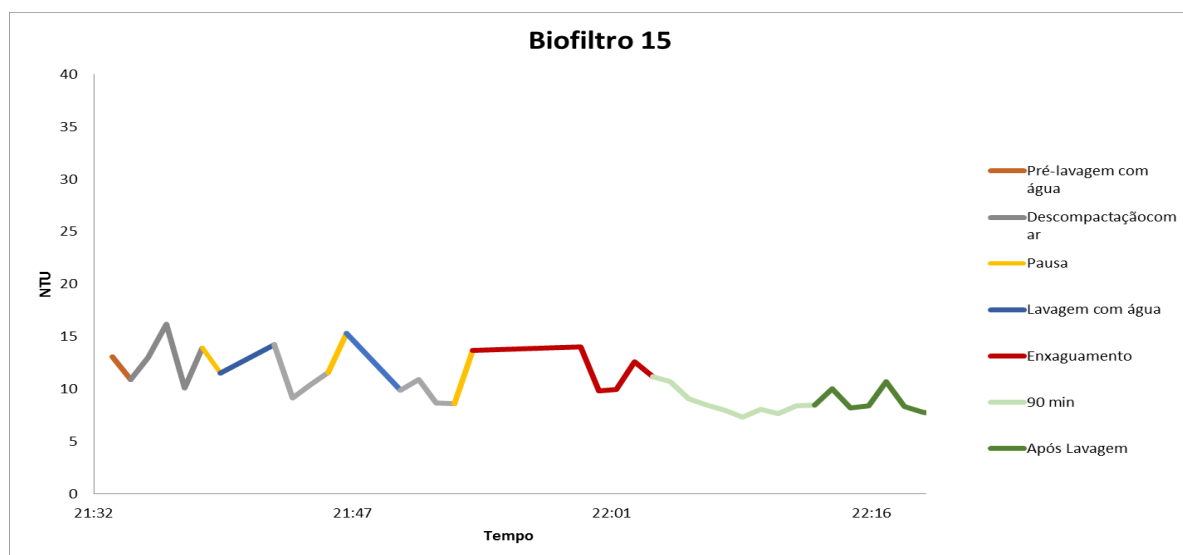


Figura E1.17 – Lavagem biofiltro 15 – 16 de março (1)

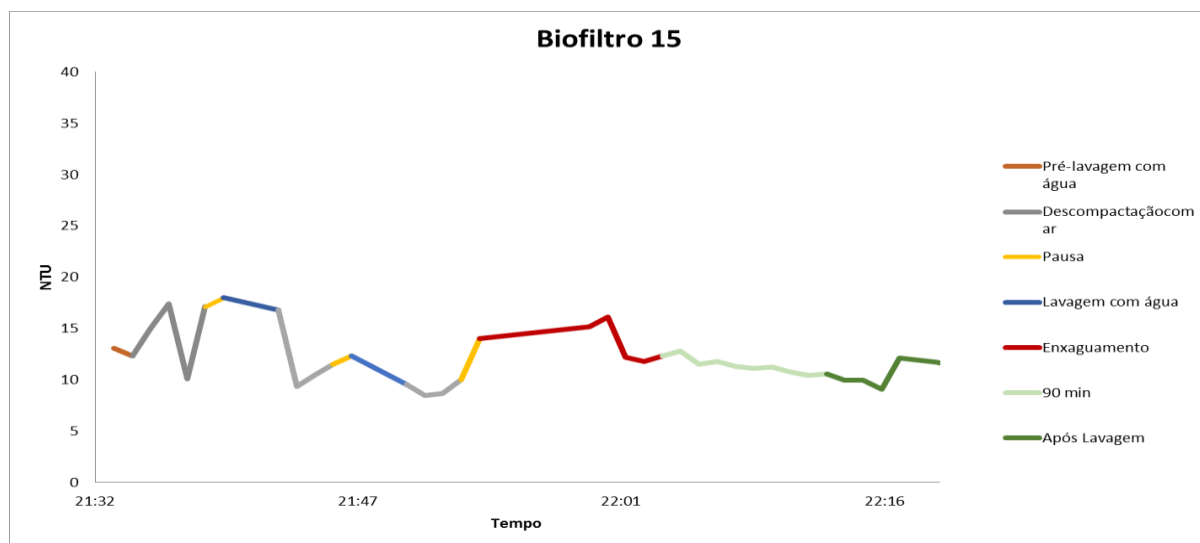


Figura E1.18 – Lavagem biofiltro 15 – 7 de abril (2)

Anexo E.2. Lavagens do biofiltro 5

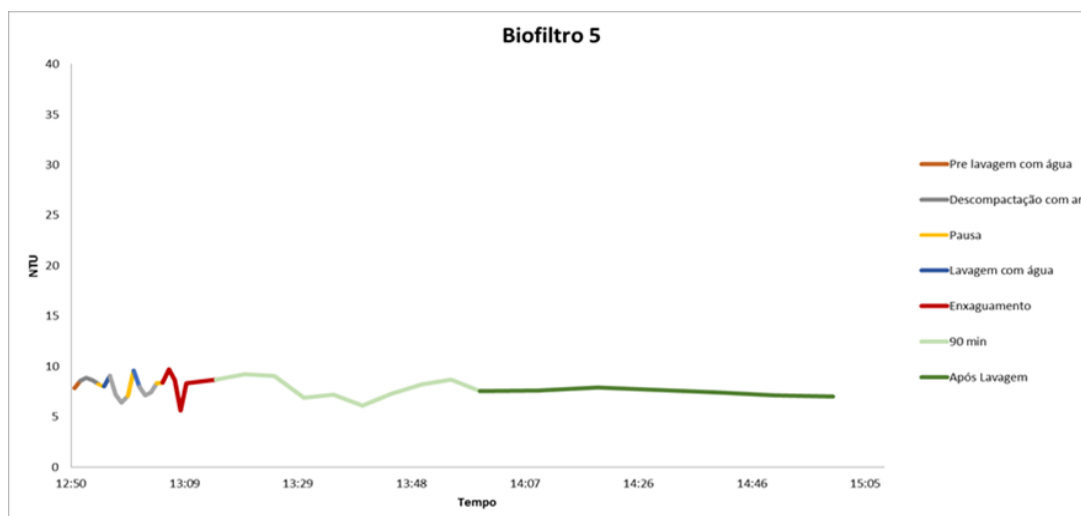


Figura E2.1 – Lavagem 16 Março

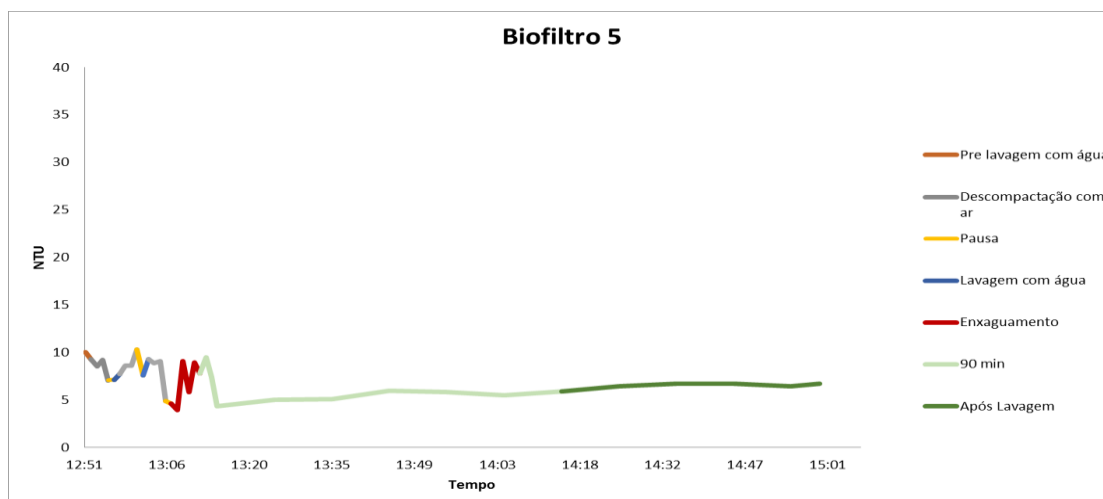


Figura E2.2 – Lavagem 28 Março

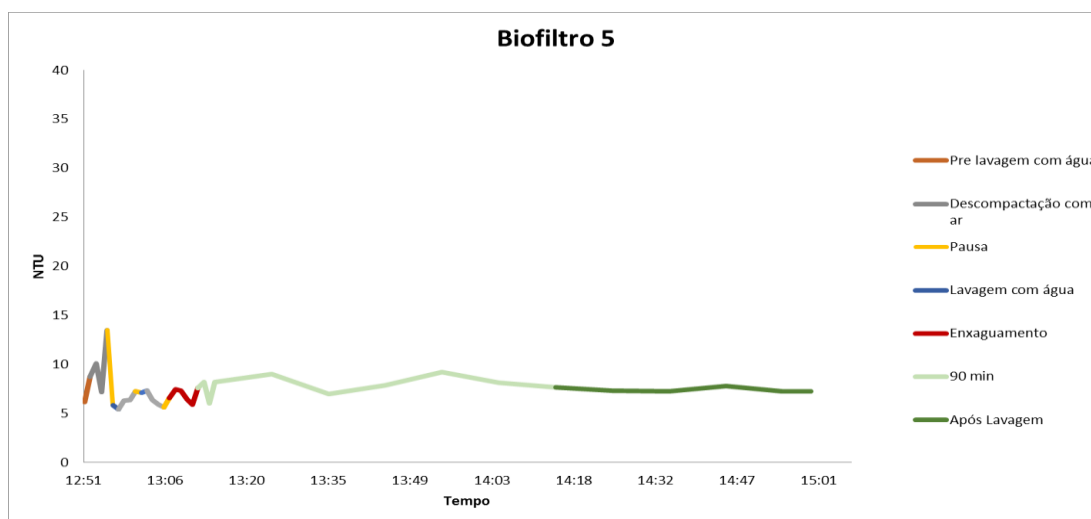


Figura E2.3. – Lavagem 6 Abril

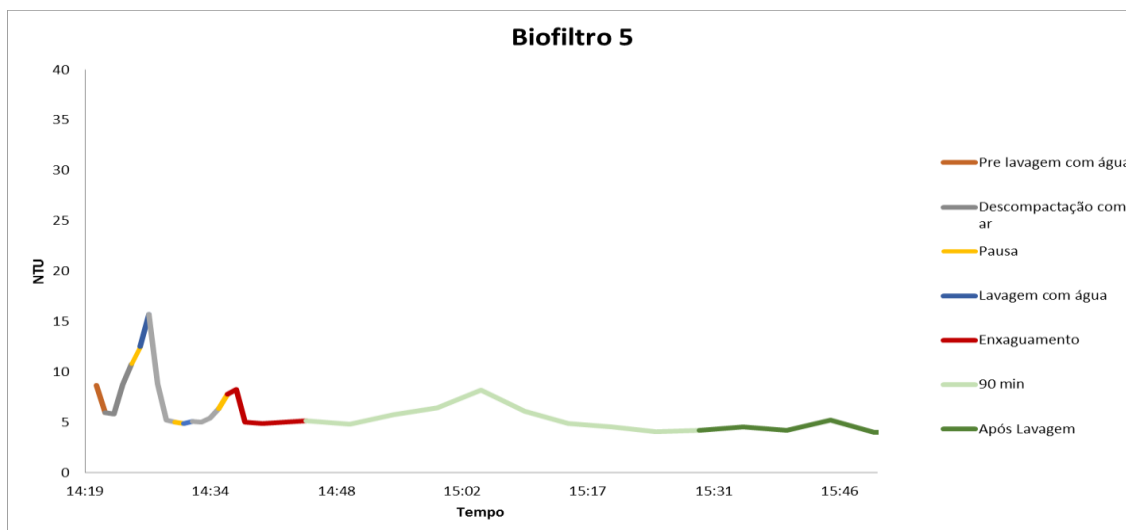


Figura E2.4 – Lavagem 15 Abril

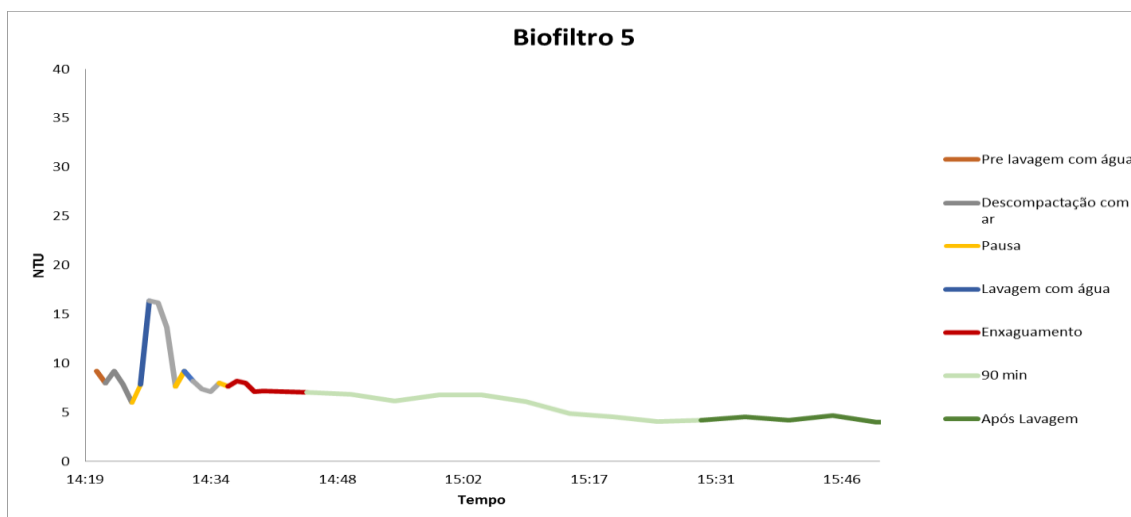


Figura E2.5 – Lavagem 16 Abril

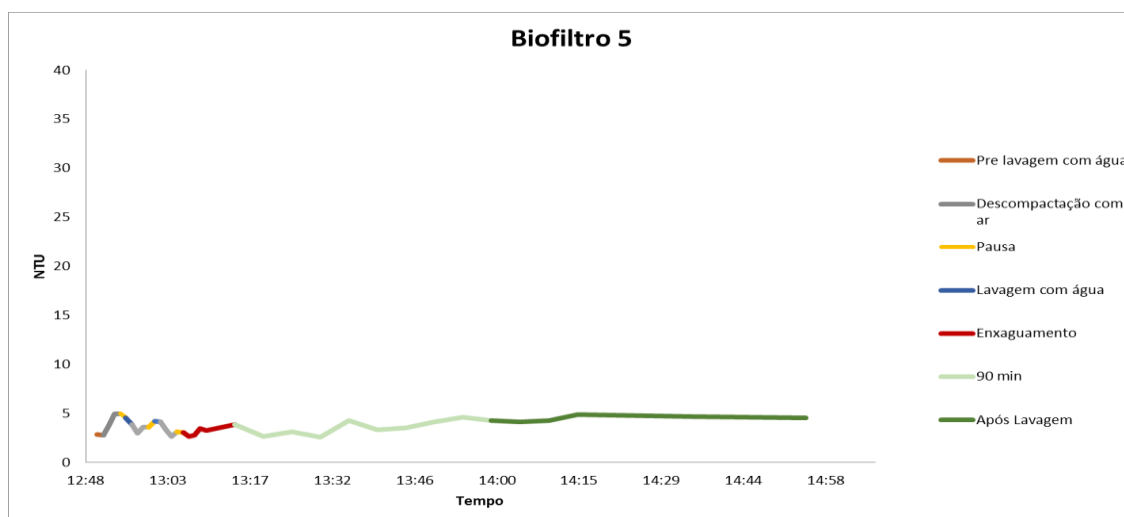


Figura E2.6 – Lavagem 17 Abril

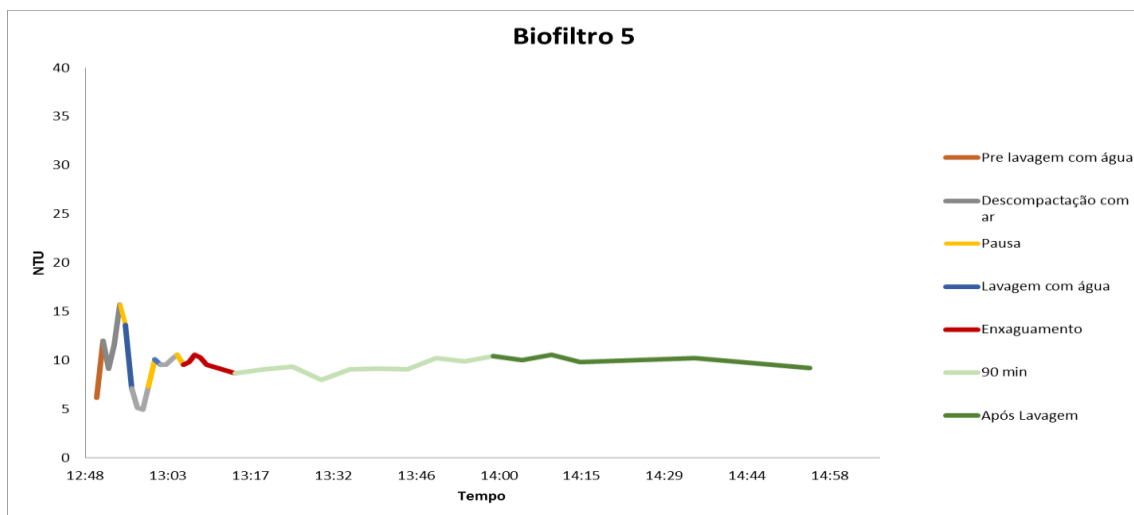


Figura E2.7 – Lavagem 18 Abril

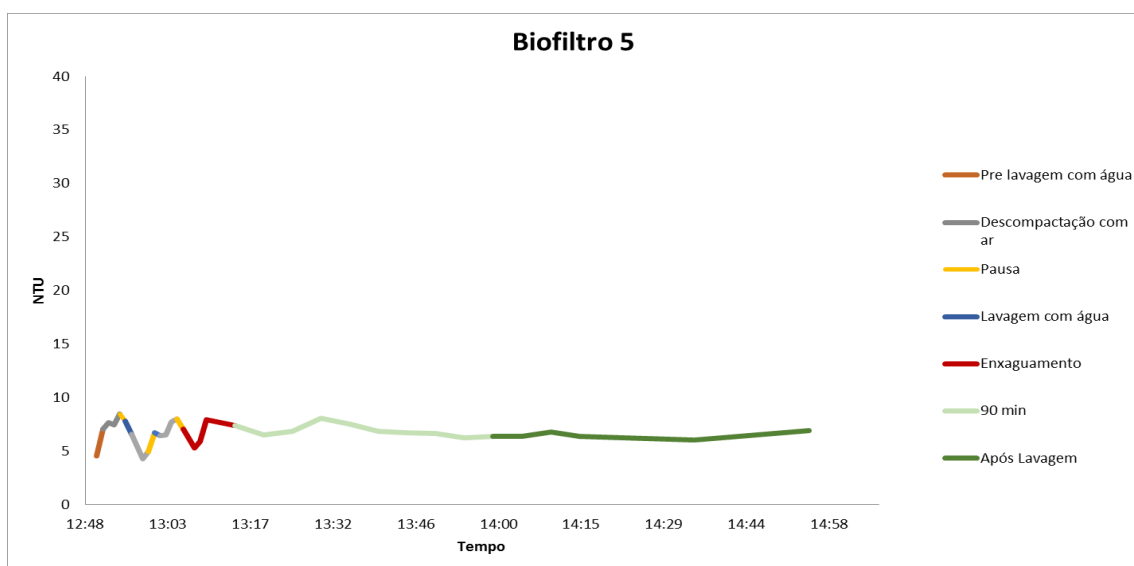


Figura E2.8 – Lavagem 19 Abril

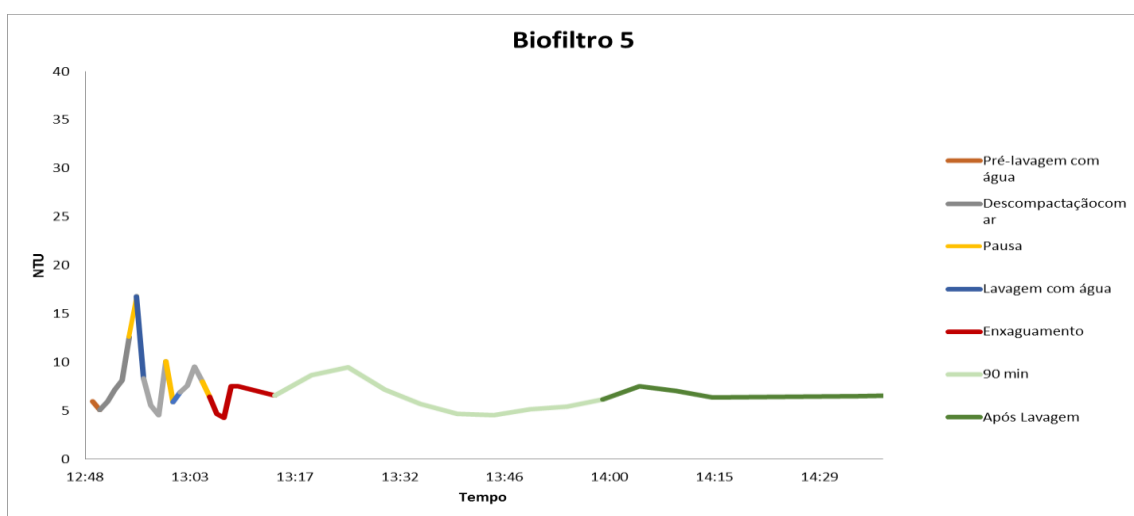


Figura E2.9 – Lavagem 20 Abril

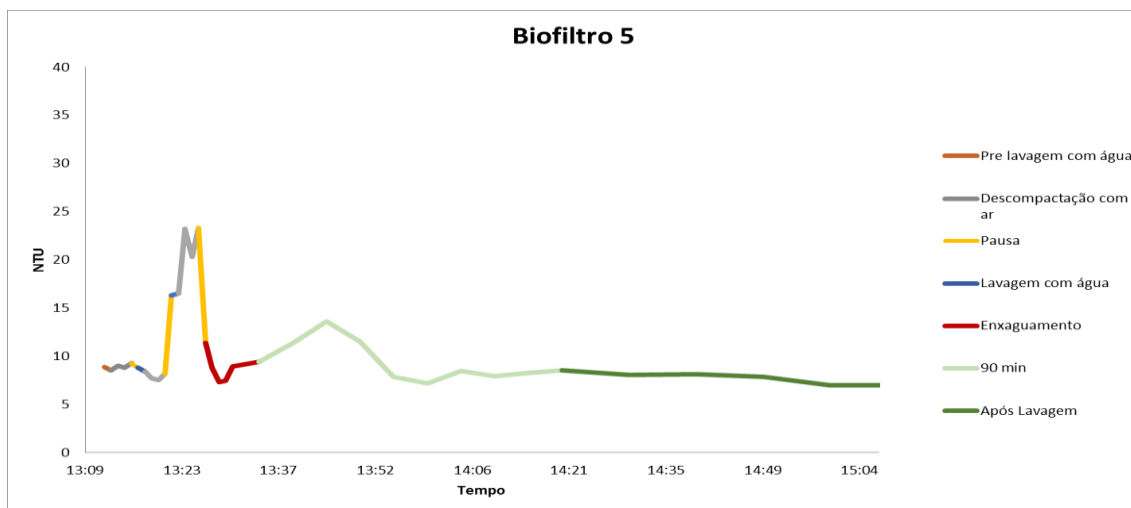


Figura E2.10 – Lavagem 28 Abril

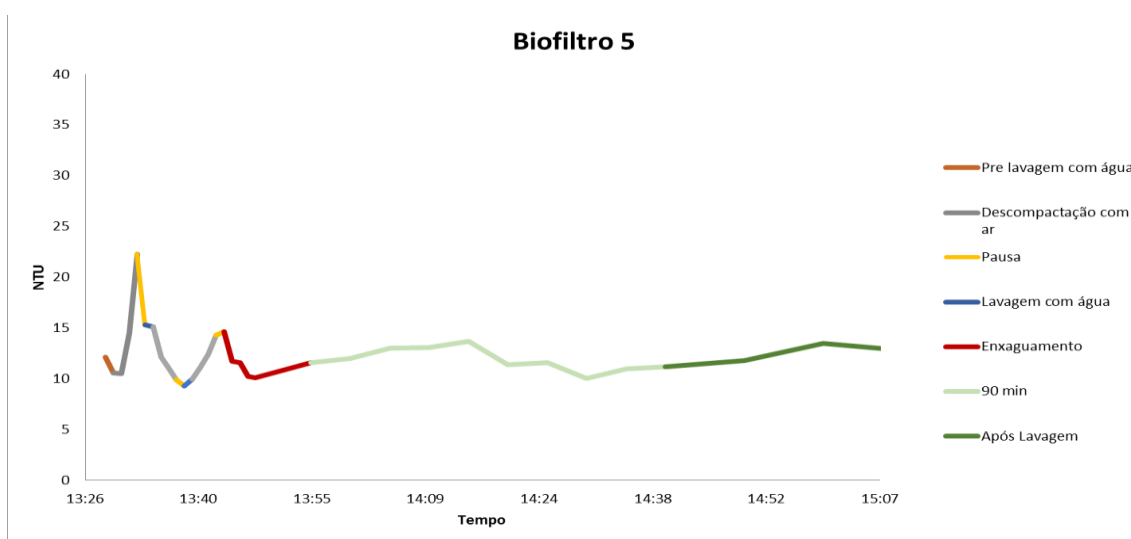


Figura E2.11 – Lavagem 29 Abril

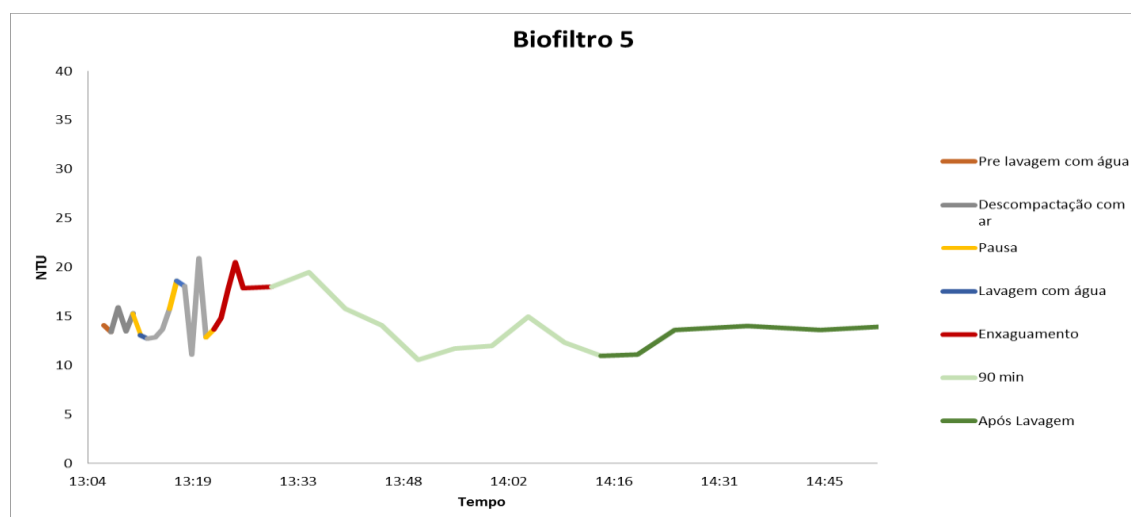


Figura E2.12 – Lavagem 30 Abril

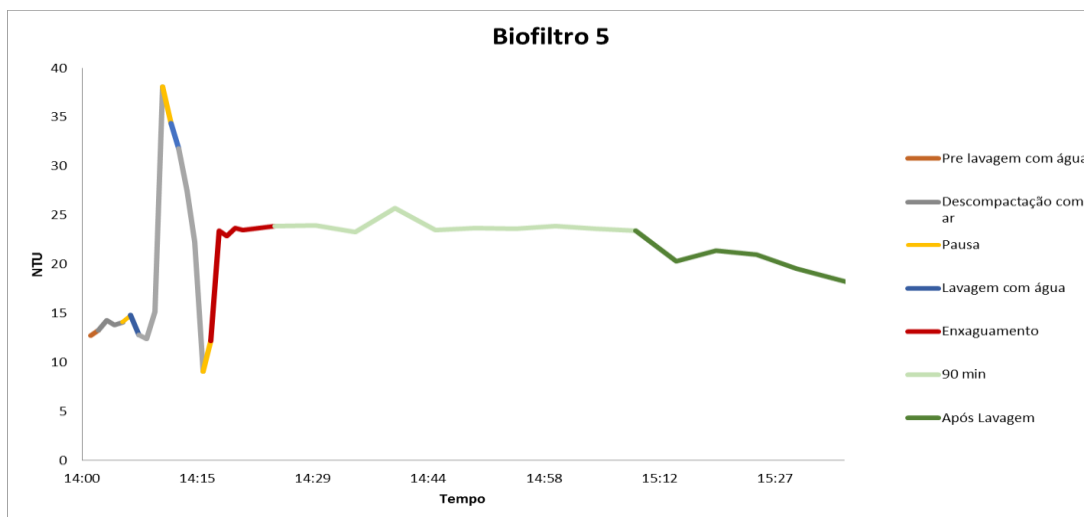


Figura E2.13 – Lavagem 1 de Maio

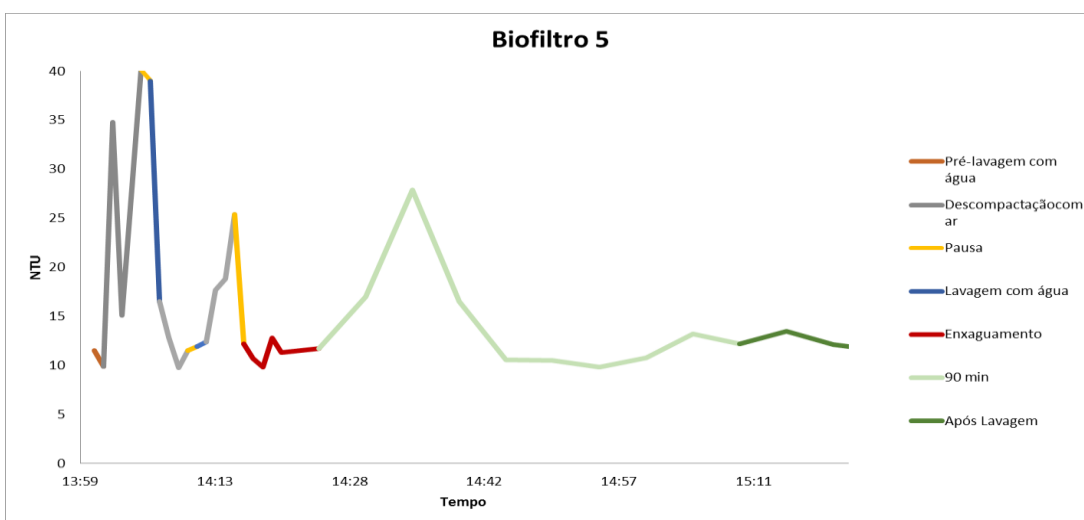


Figura E2.14 – Lavagem 2 de Maio

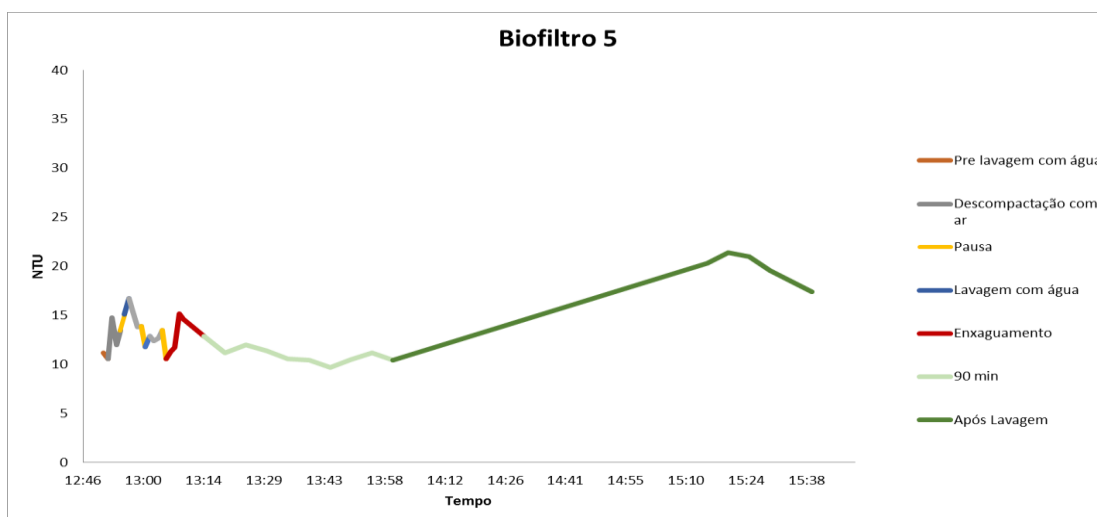


Figura E2.15 – Lavagem 3 de Maio

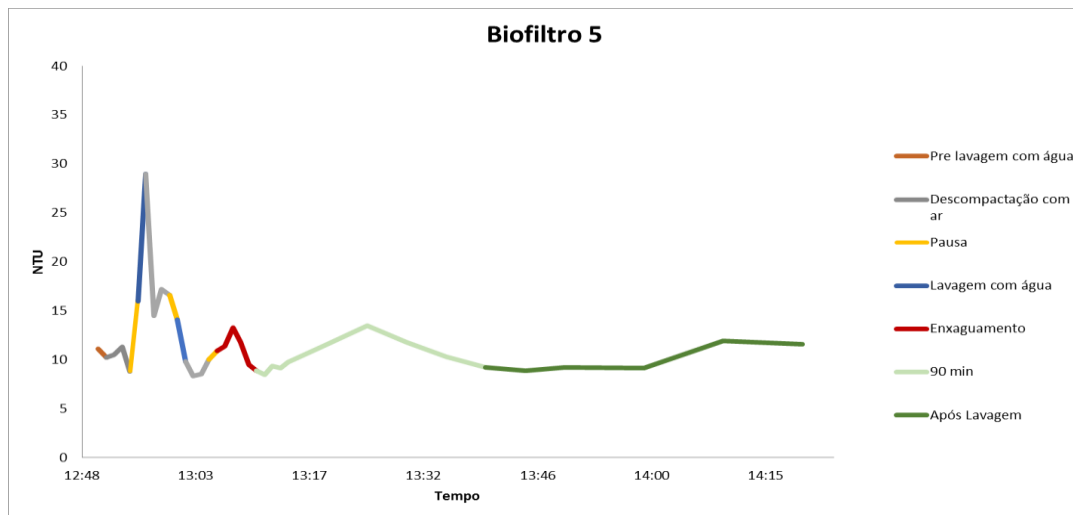


Figura E2.16 – Lavagem 30 de Maio

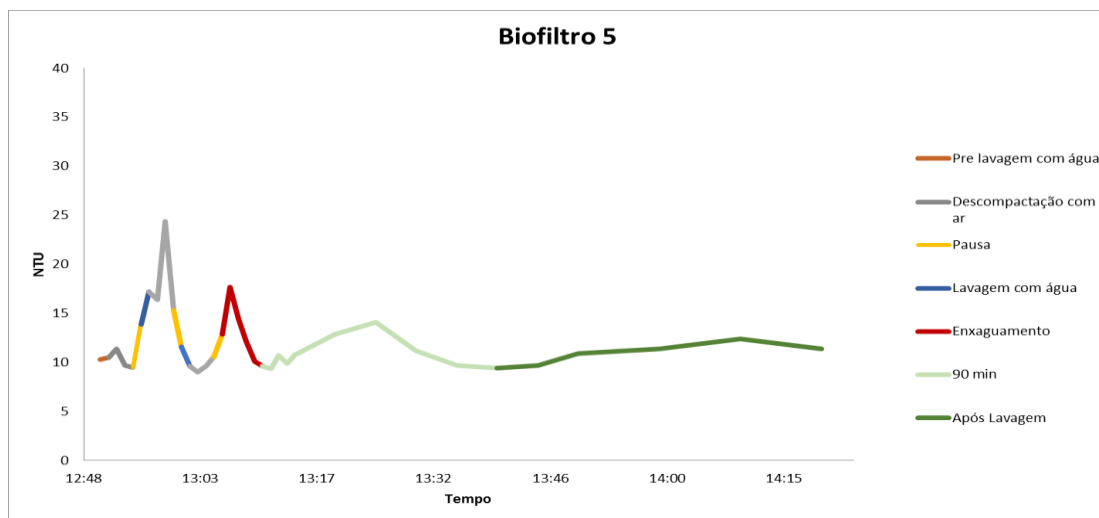


Figura E2.17 – Lavagem 31 de Maio

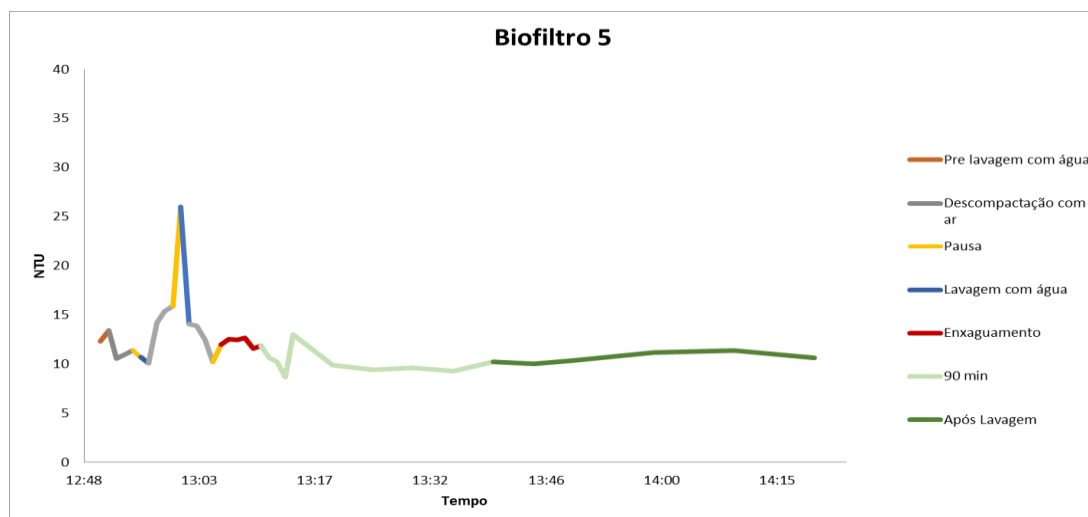


Figura E2.18 – Lavagem 1 de Junho

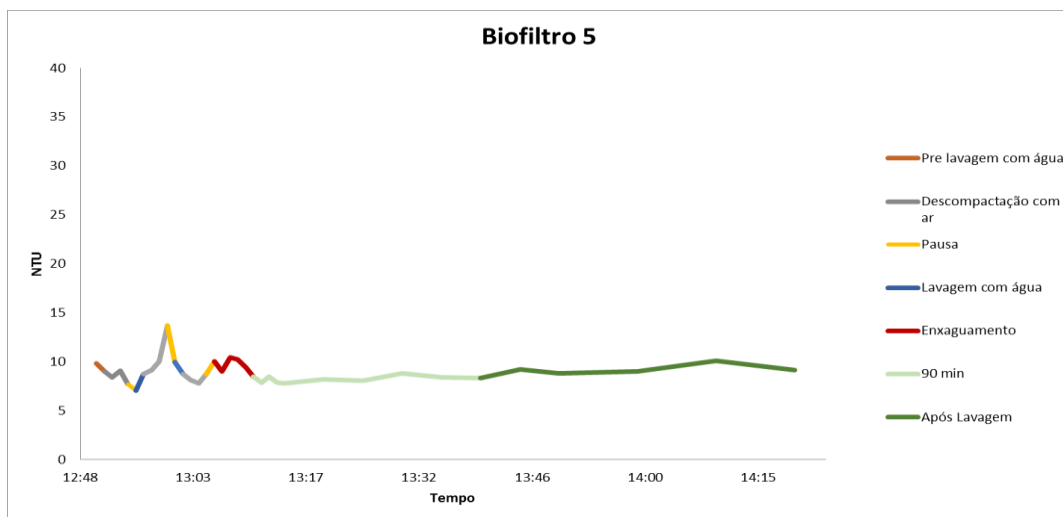


Figura E2.19 – Lavagem 2 de Junho

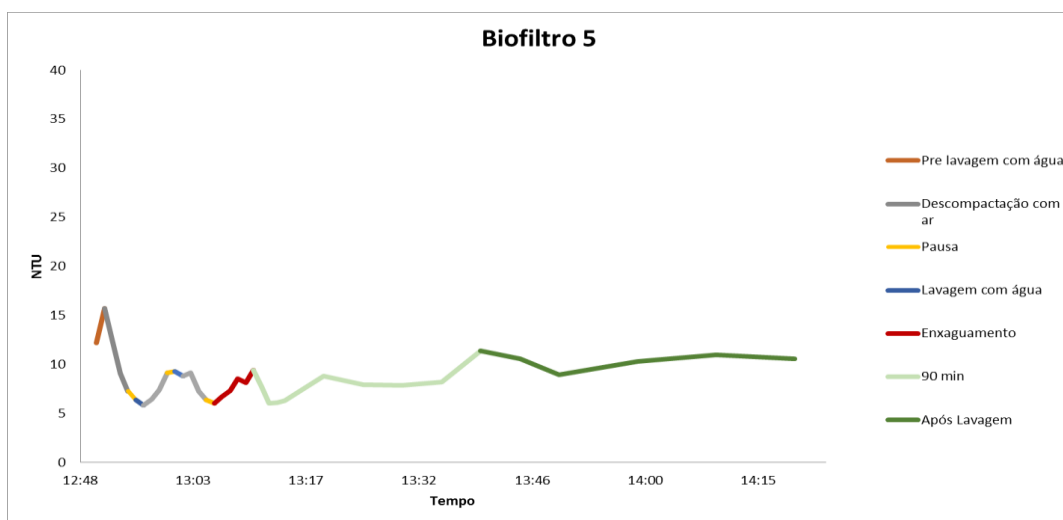


Figura E2.20 – Lavagem 3 de Junho

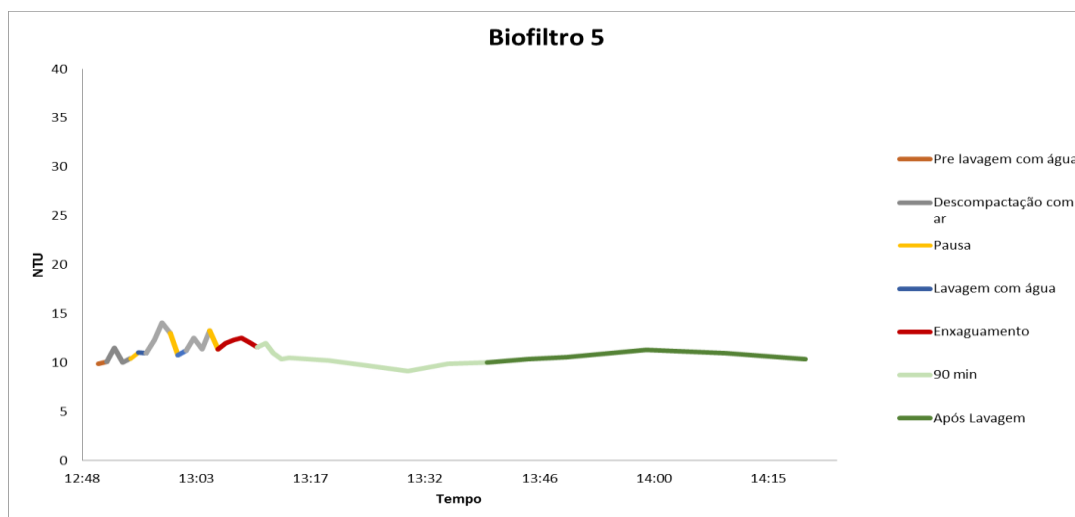


Figura E2.21 – Lavagem 4 de Junho

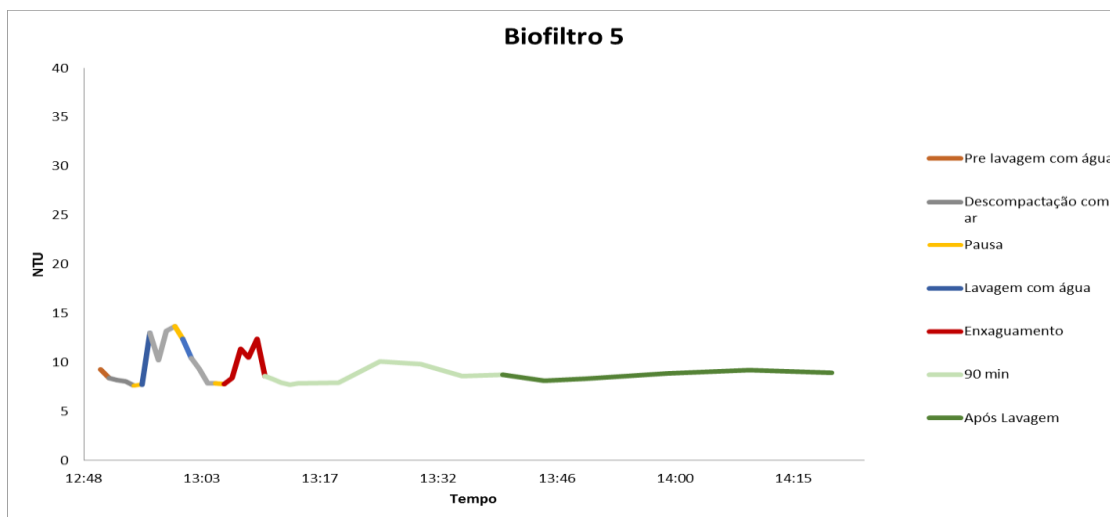


Figura E2.22 – Lavagem 5 de Junho

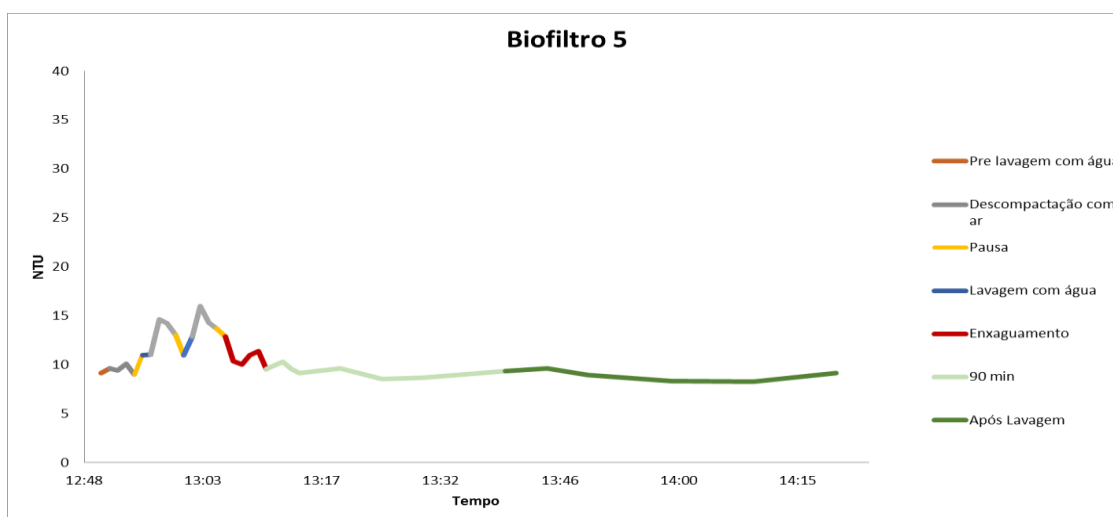


Figura E2.23 – Lavagem 6 de Junho

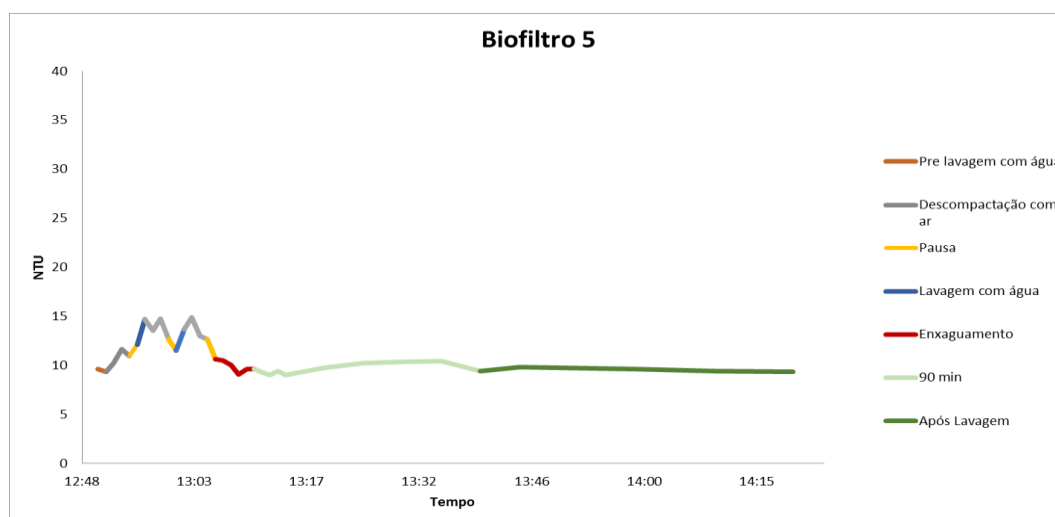


Figura E2.24 – Lavagem 7 de Junho

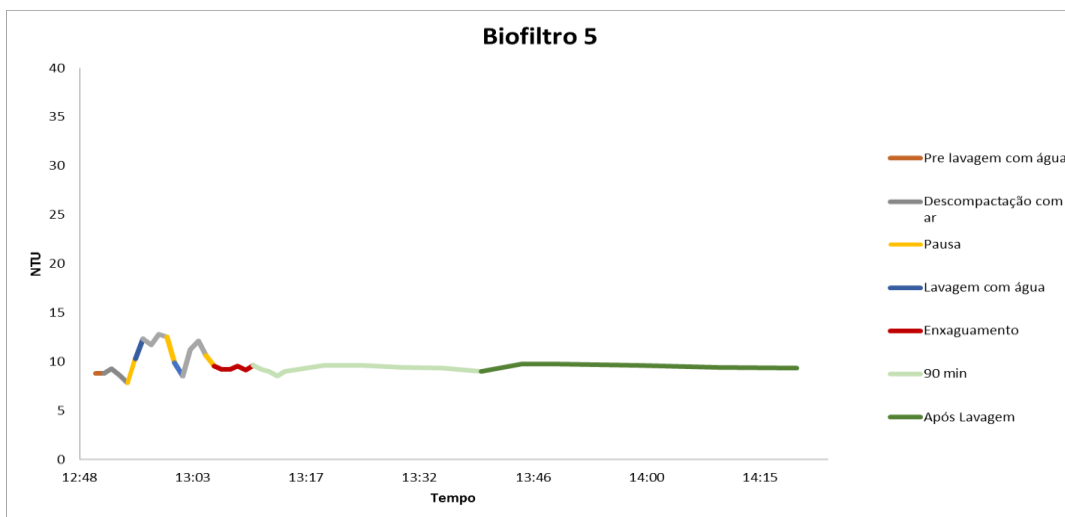


Figura E2.25 – Lavagem 8 de Junho

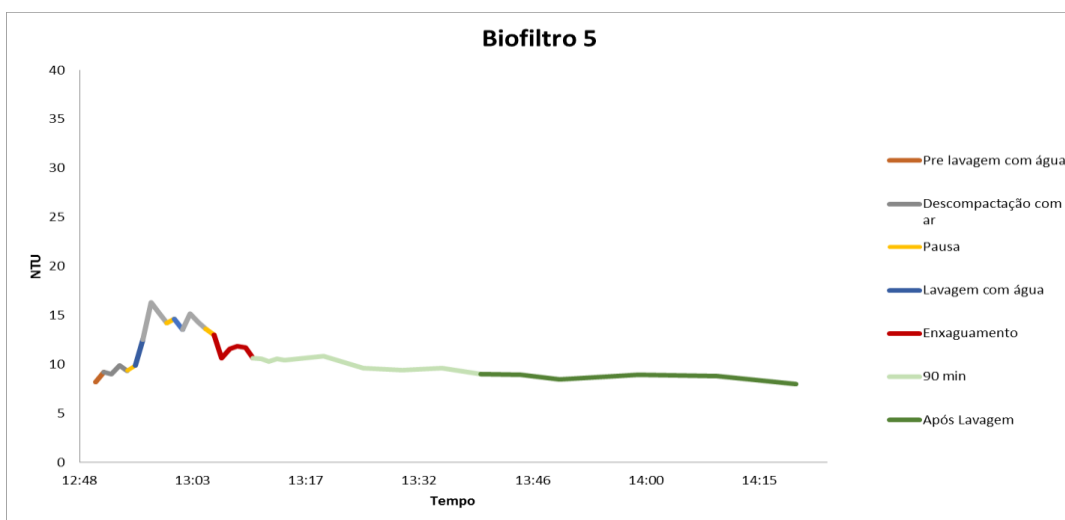


Figura E2.26 – Lavagem 9 de Junho

Anexo E.3. Lavagens do biofiltro 6

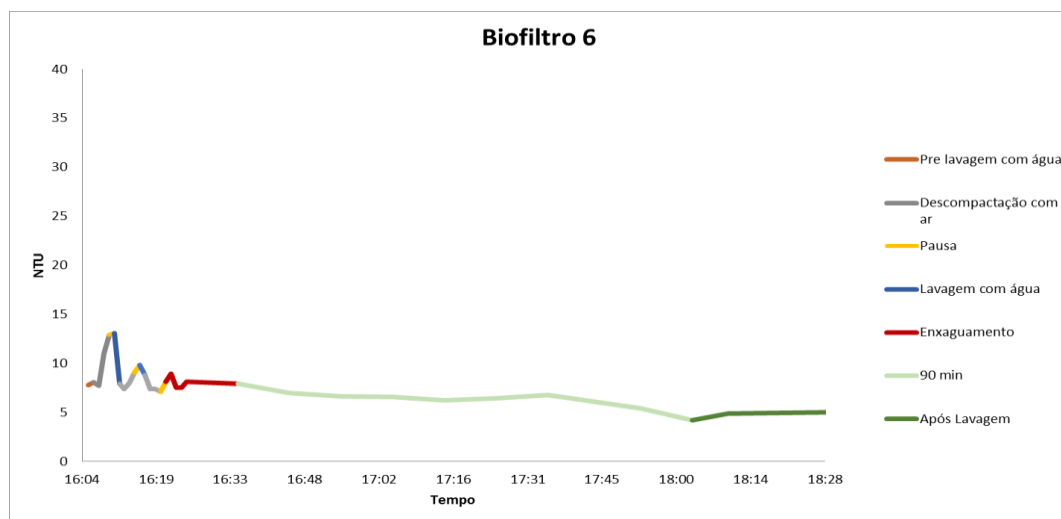


Figura E3.1 – Lavagem de 16 de Março

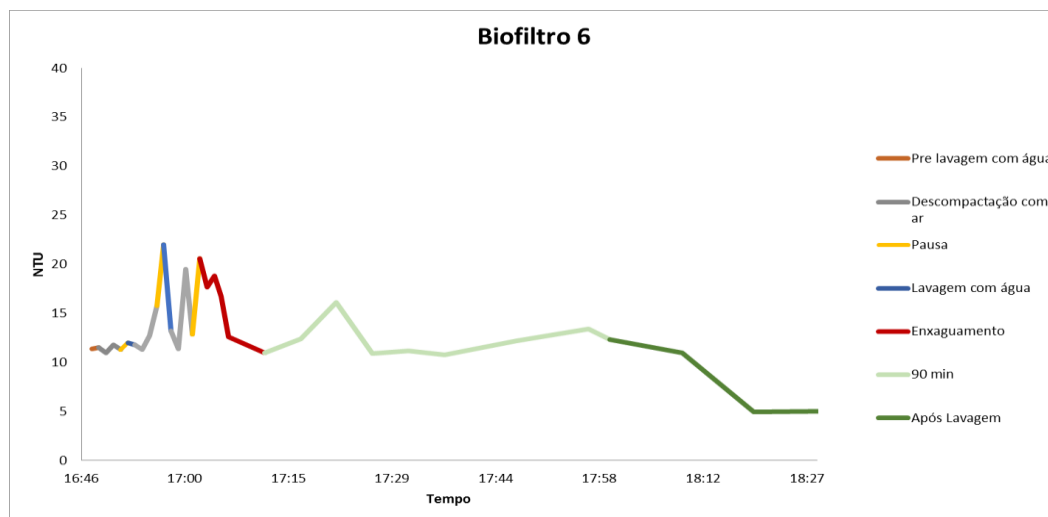


Figura E3.2 – Lavagem de 6 de Abril

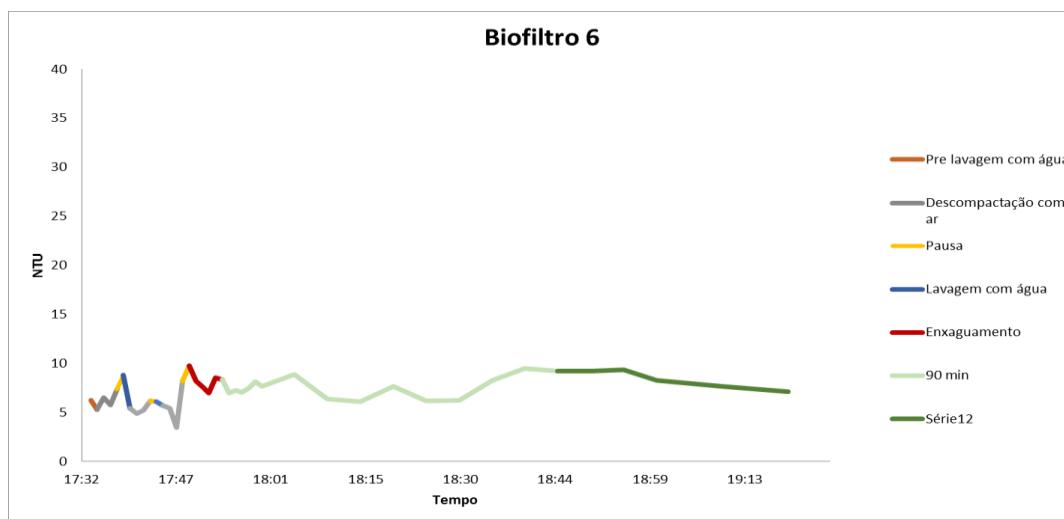


Figura E3.3 – Lavagem de 15 de Abril

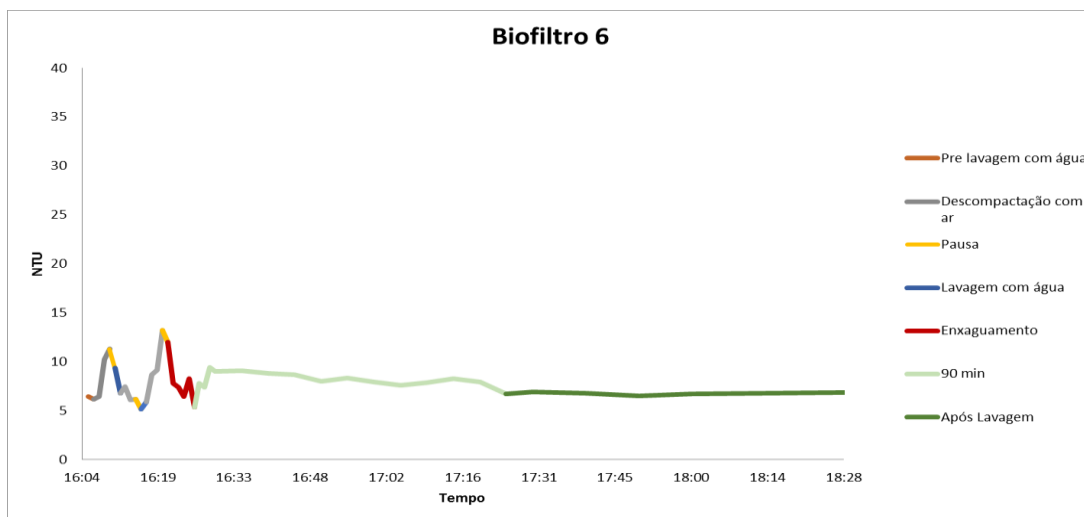


Figura E3.4 – Lavagem de 16 de Abril

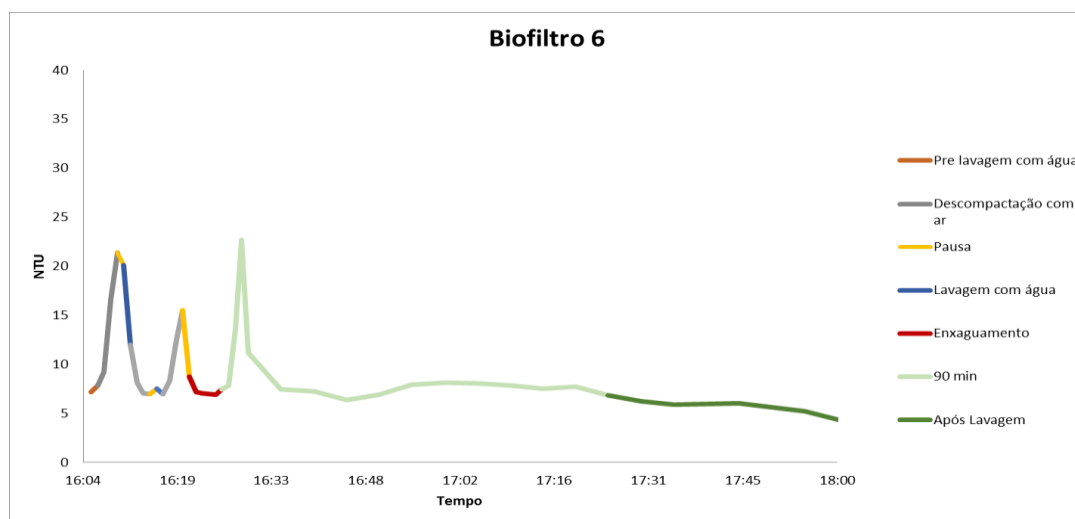


Figura E3.5 – Lavagem de 17 de Abril

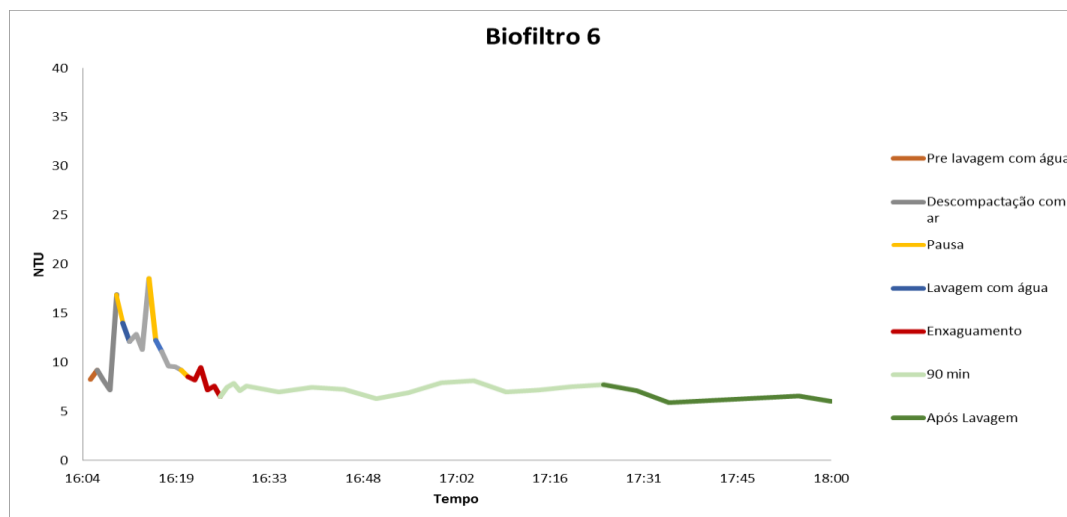


Figura E3.6 – Lavagem de 18 de Abril

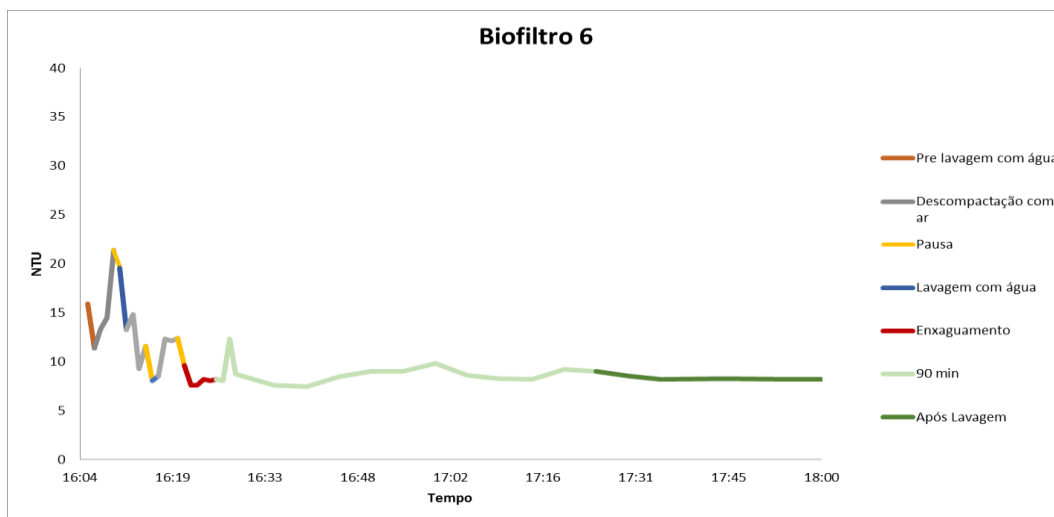


Figura E3.7 – Lavagem de 19 de Abril

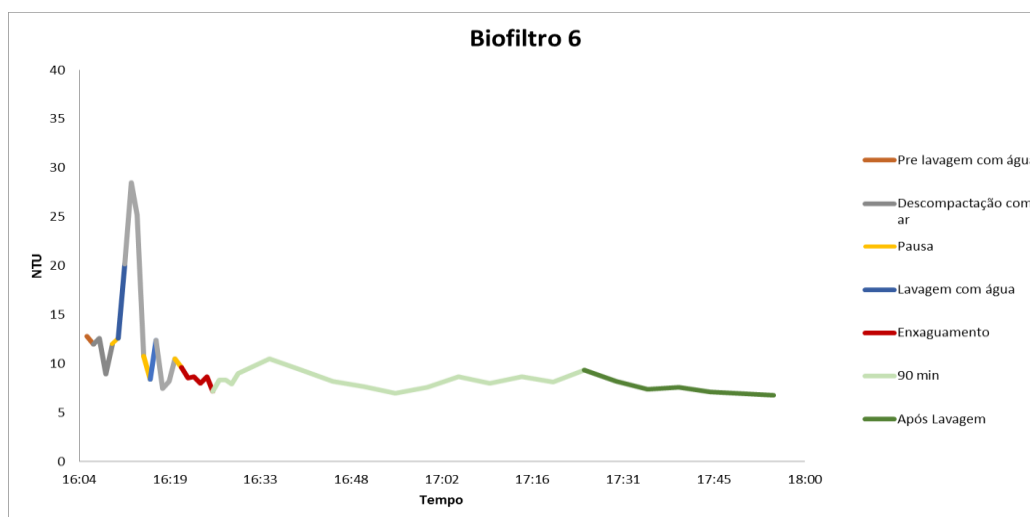


Figura E3.8 – Lavagem de 20 de Abril

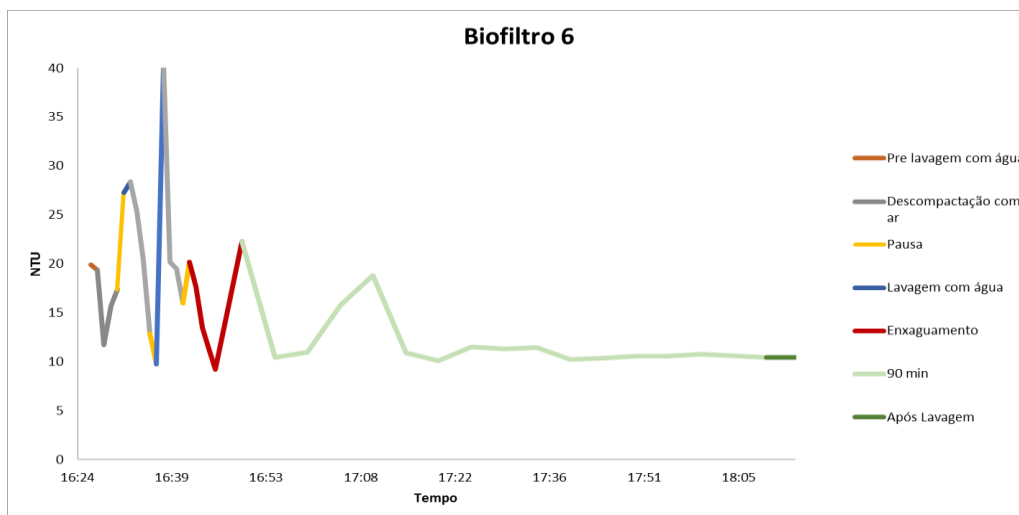


Figura E3.9 – Lavagem de 28 de Abril

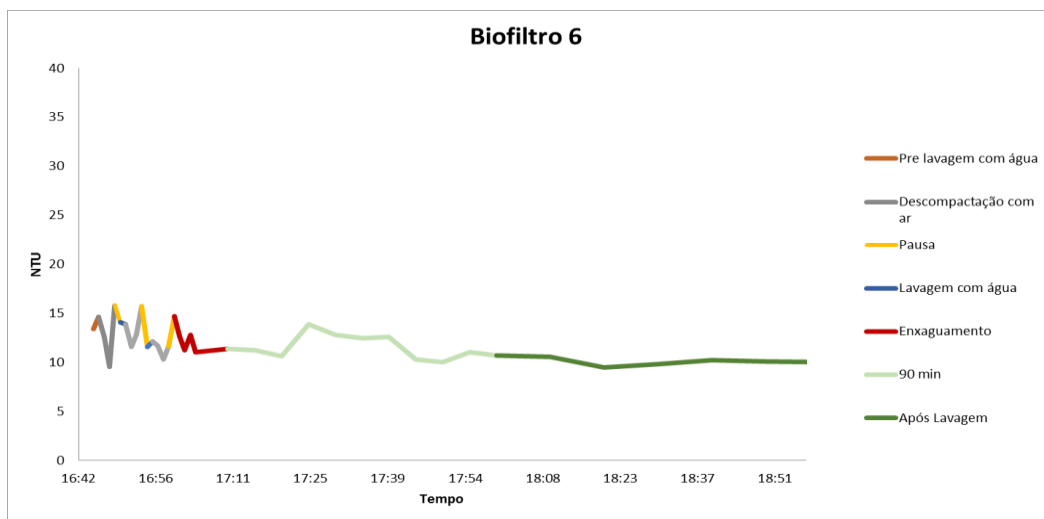
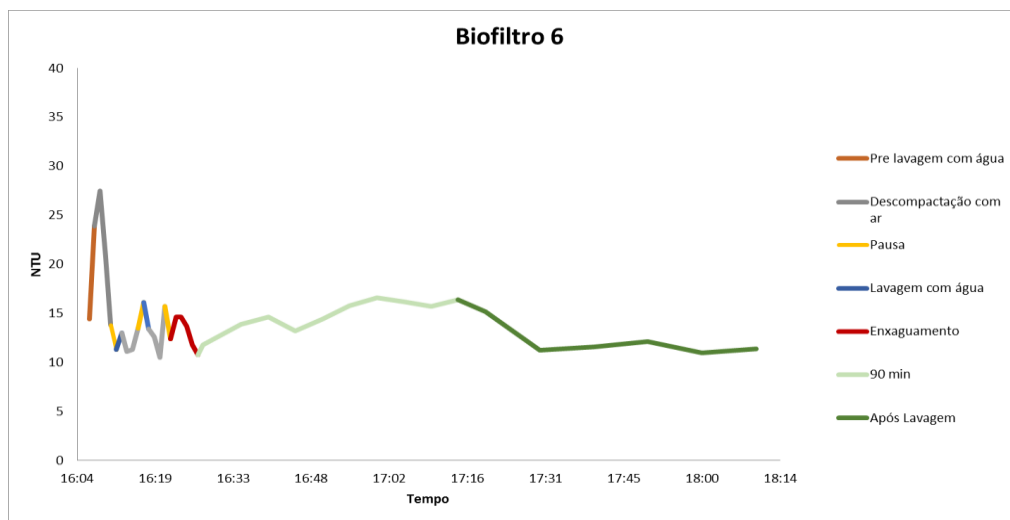


Figura E3.10 – Lavagem de 29 de Abril



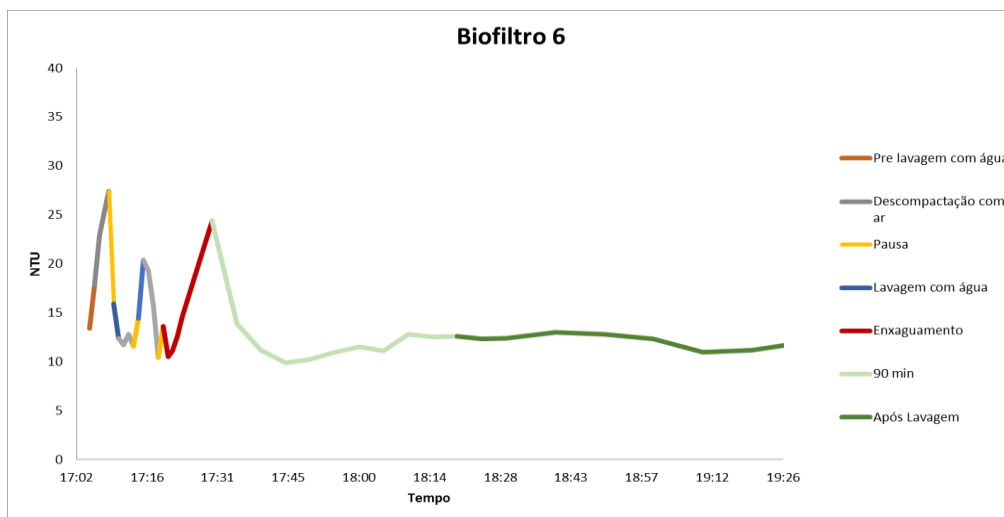


Figura E3.13 – Lavagem de 2 de Maio

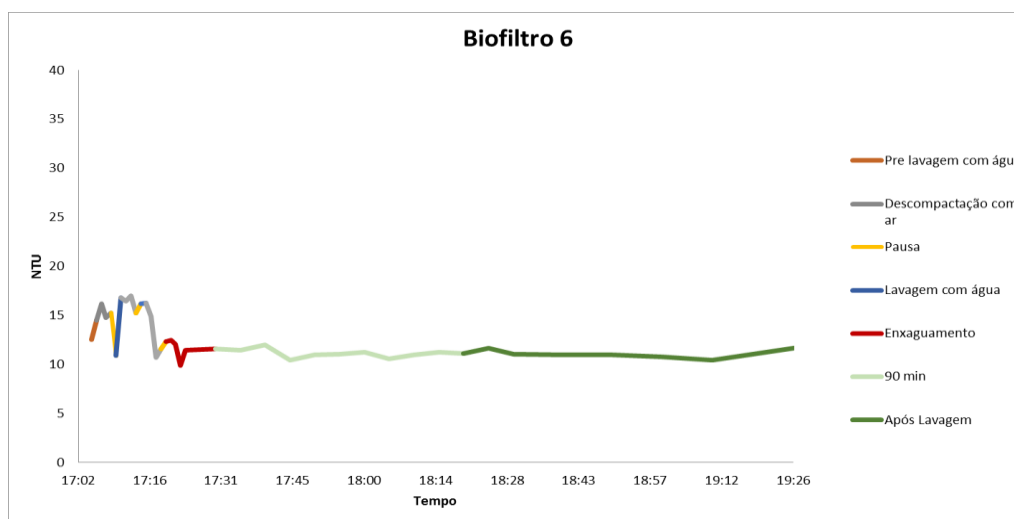


Figura E3.14 – Lavagem de 3 de Maio

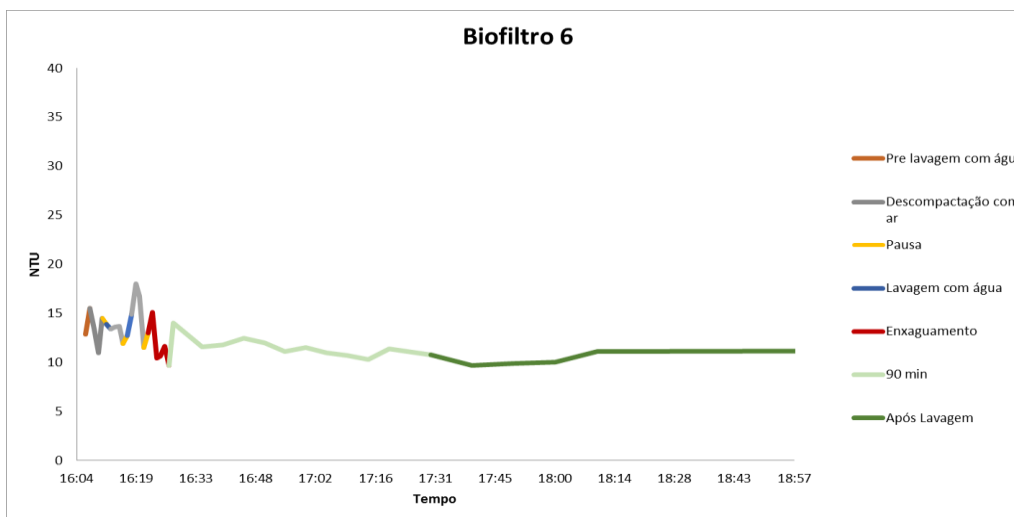


Figura E3.15 – Lavagem de 30 de Maio

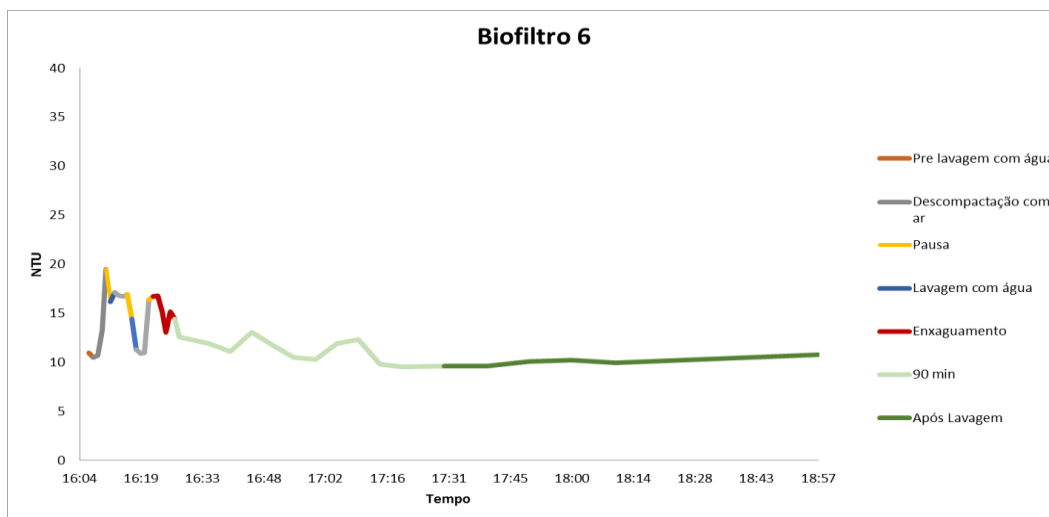


Figura E3.16 – Lavagem de 31 de Maio

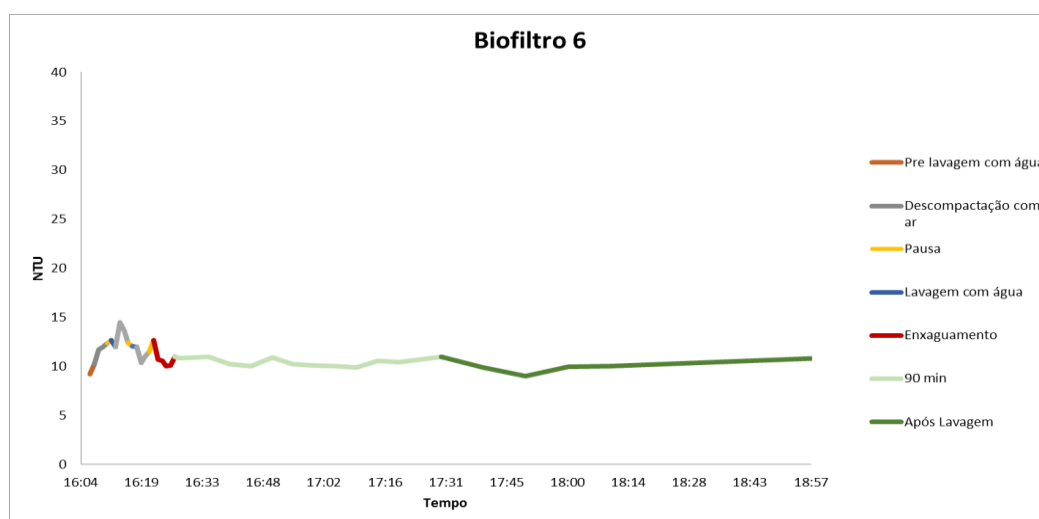


Figura E3.17 – Lavagem de 1 de Junho

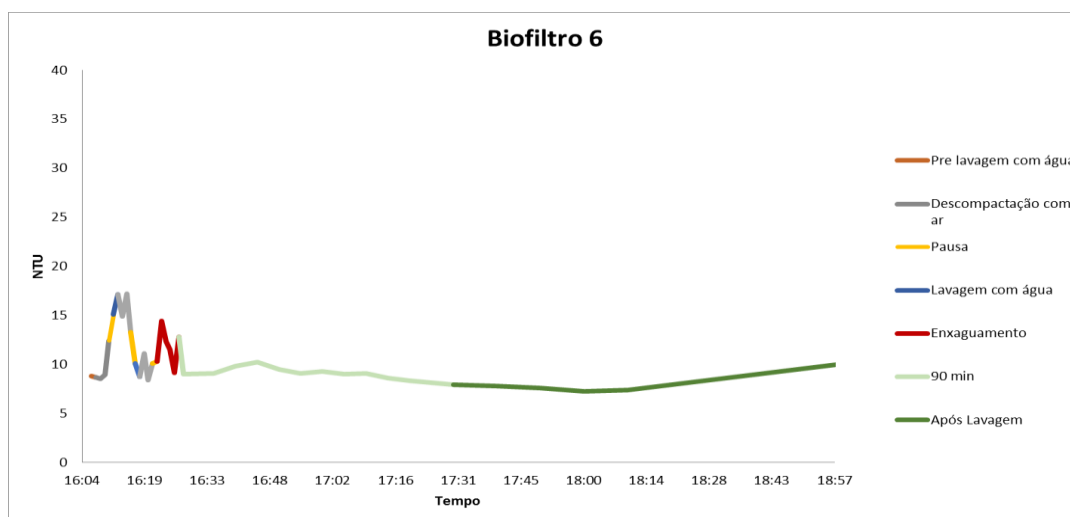


Figura E3.18 – Lavagem de 2 de Junho

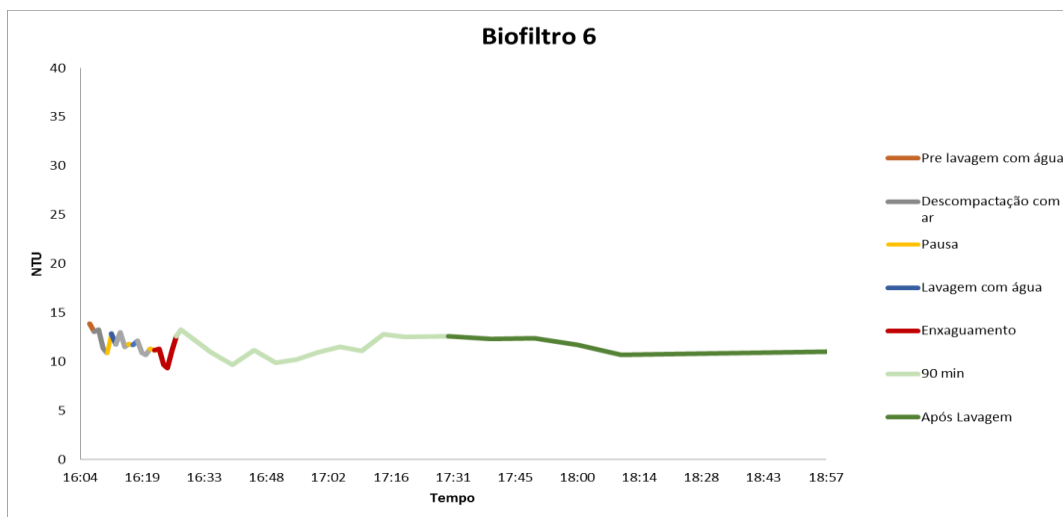


Figura E3.19 – Lavagem de 3 de Junho

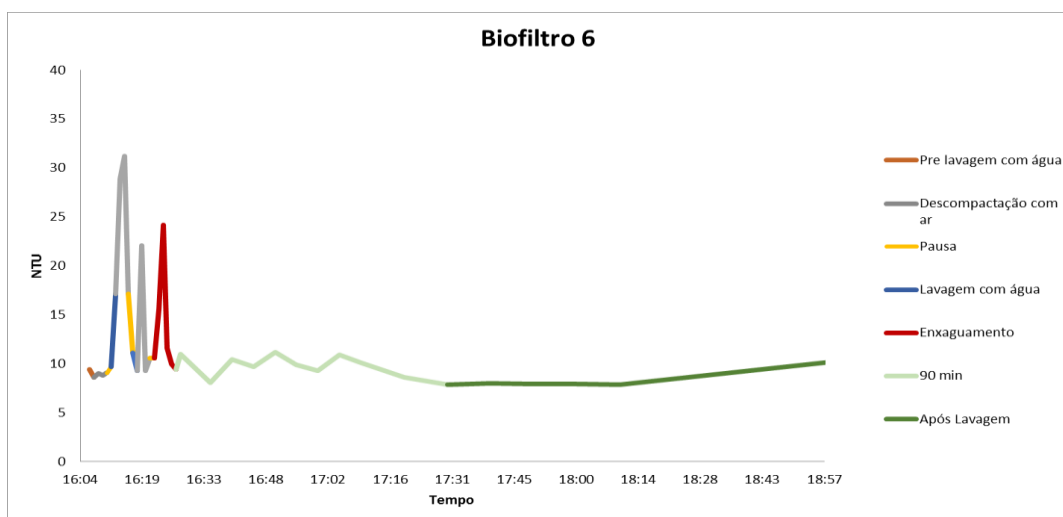


Figura E3.20 – Lavagem de 4 de Junho

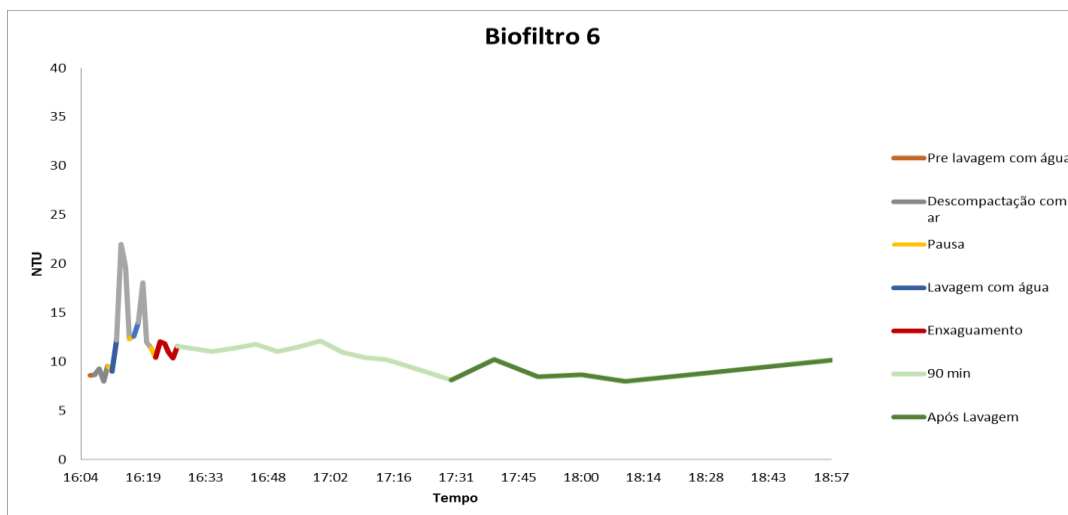


Figura E3.21 – Lavagem de 5 de Junho

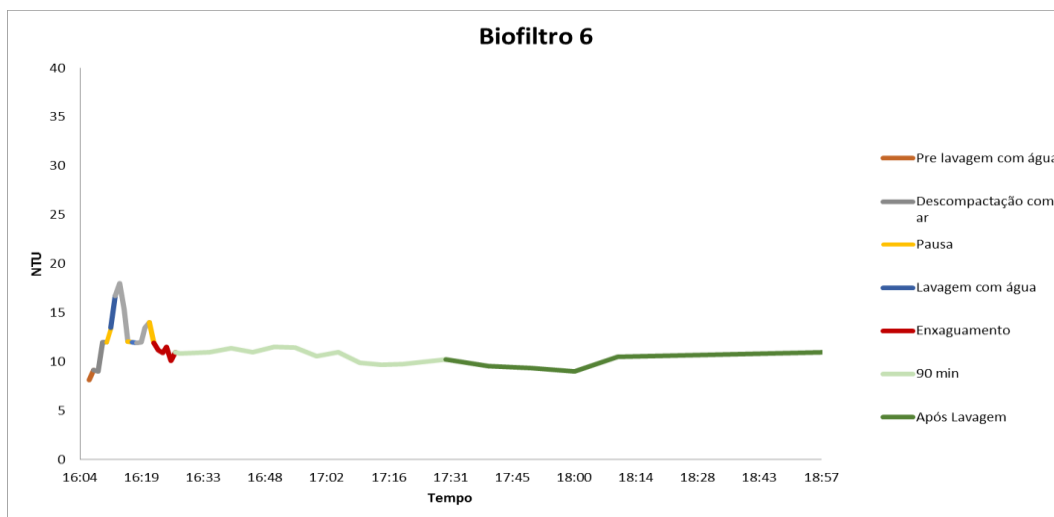


Figura E3.22 – Lavagem de 6 de Junho

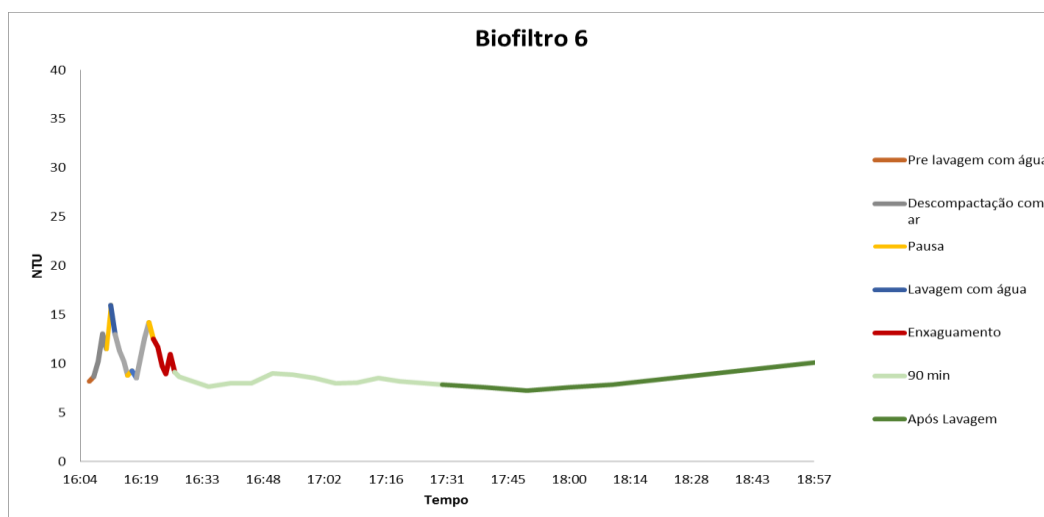


Figura E3.23 – Lavagem de 7 de Junho

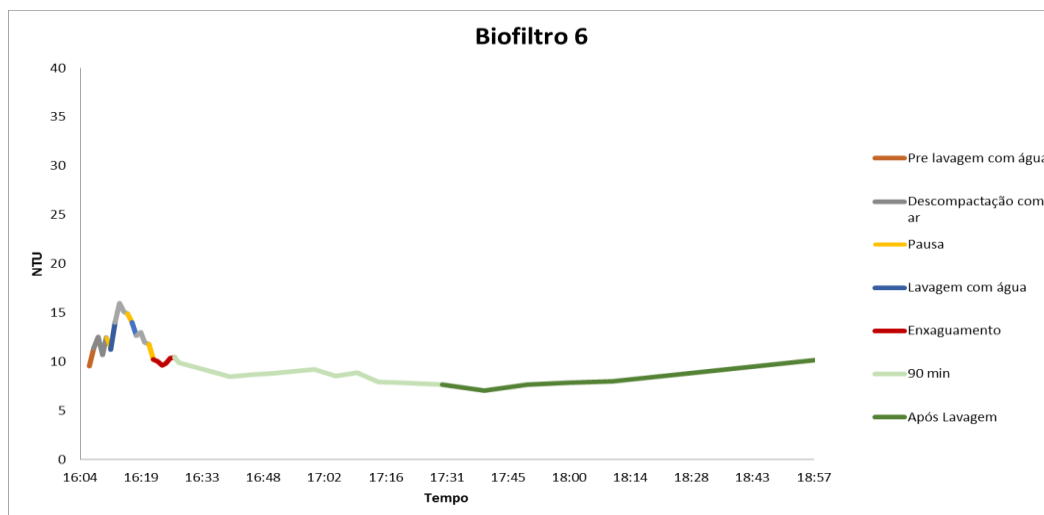


Figura E3.24 – Lavagem de 8 de Junho

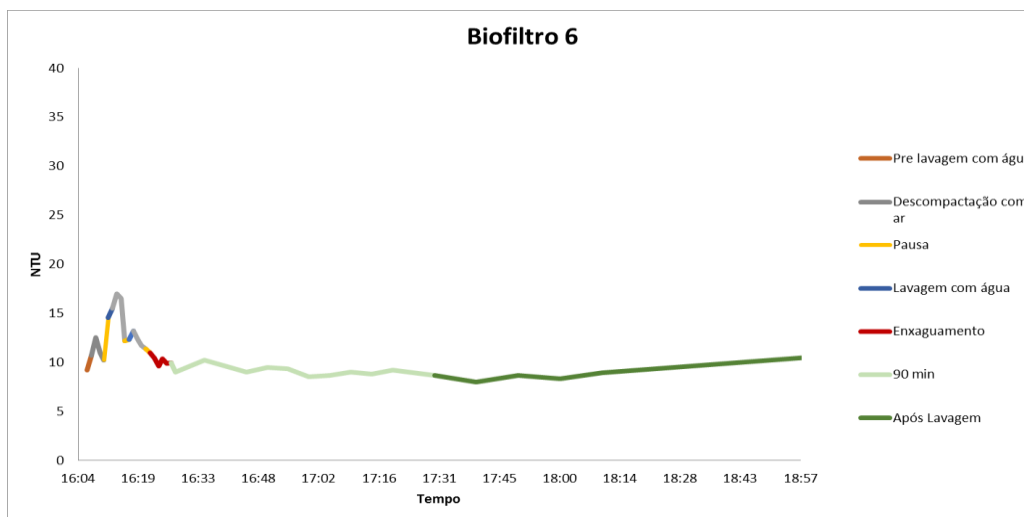


Figura E.25 - Lavagem de 9 de Junho

Anexo F – Periodos de mudança

**Anexo F.1 – Matriz de acompanhamento relativo ao período de mudanças:
Caudal afluyente à biofiltração, Turvação do MF5, Turvação do MF 1-4; Turvação
de saída**

**Tabela F1.1. - Matriz de acompanhamento relativo ao período de mudanças
Caudal afluyente à biofiltração, Turvação do MF5, Turvação do MF 1-4; Turvação de saída**

Data	Mudança	Comum			
15-abr	v = 55 m/h	Q max afluyente BF	NTU I-4	NTU MF5	MTU saída
16-abr					
17-abr					
18-abr					
19-abr					
20-abr	T I = 130 s				
21-abr	Reposição de tempo				
22-abr					
23-abr					
24-abr					
25-abr					
26-abr					
27-abr					
28-abr	T I = 140 s				
29-abr					
30-abr	T I = 135 s				
01-mai					
02-mai					
03-mai					
04-mai					
05-mai	Reposição de tempo				
06-mai					
07-mai					
08-mai					
09-mai					
10-mai					
11-mai					
30-mai	T I = 135 s				
31-mai					
01-jun					
02-jun					
03-jun					
04-jun					
05-jun					
06-jun	T3 = 270				
07-jun					
08-jun					
09-jun					
10-jun					
11-jun					
12-jun					

Anexo F.2 – Matriz de acompanhamento relativo ao período de mudanças, colmatção, expansão, hora de entrada em fora de serviço, hora de lavagem

Tabela F2.2. Matriz de acompanhamento relativo ao período de mudanças, colmatção, expansão, hora de entrada em fora de serviço, hora de lavagem

Data	Mudança	Colmatção antes	Expansão	Fora de serviço	Hora que lavou	Colmatção após	Expansão após
15-abr	v = 55 m/h						
16-abr							
17-abr							
18-abr							
19-abr							
20-abr	TI = 130 s						
21-abr	Reposição de tempo						
22-abr							
23-abr							
24-abr							
25-abr							
26-abr							
27-abr							
28-abr	TI = 140 s						
29-abr							
30-abr	TI = 135 s						
01-mai							
02-mai							
03-mai							
04-mai	Reposição de tempo						
05-mai							
06-mai							
07-mai							
08-mai							
09-mai							
10-mai							
11-mai							
30-mai	TI = 135 s						
31-mai							
01-jun							
02-jun							
03-jun							
04-jun							
05-jun	T3 = 270						
06-jun							
07-jun							
08-jun							
09-jun							
10-jun							
11-jun							
12-jun							

Anexo G – Variações referentes aos períodos de alteração

Anexo G.1 – Variação da colmatção antes e após lavagem referente ao período de alterações

Não foram considerados, para a representação gráfica, o período temporal de 11 a 29 de Maio, pois corresponde a um período onde não foram feitas alterações processuais, pelo que como amostra de reposição de tempo, apresentam-se duas fases para comparação de valores.

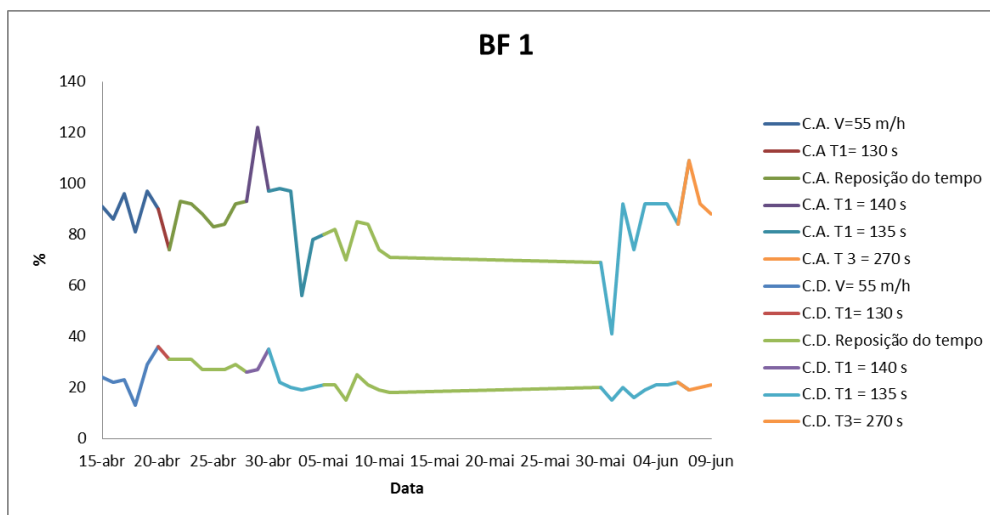


Figura G1.1 – Colmatção antes (em cima) e depois da lavagem (em baixo) durante o período de alterações - biofiltro 1

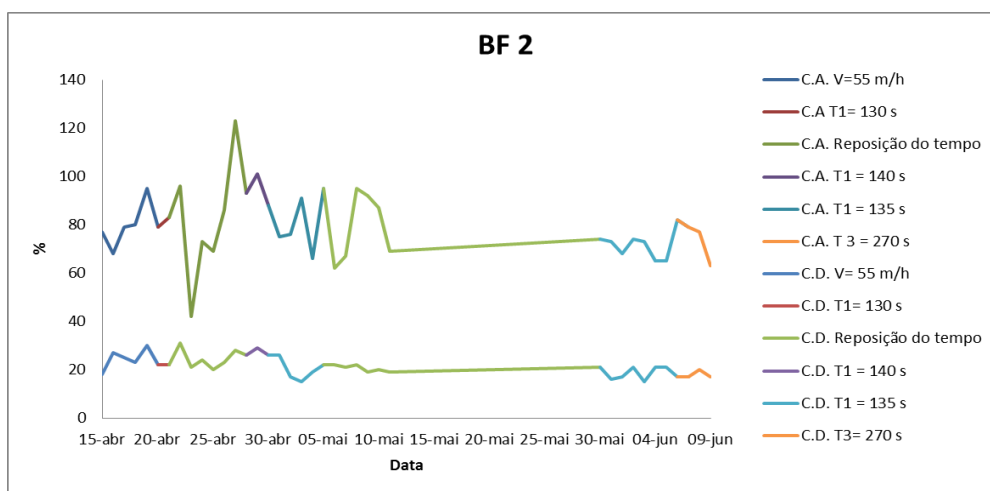


Figura G1.2 – Colmatção antes (em cima) e depois da lavagem (em baixo) durante o período de alterações – biofiltro 2

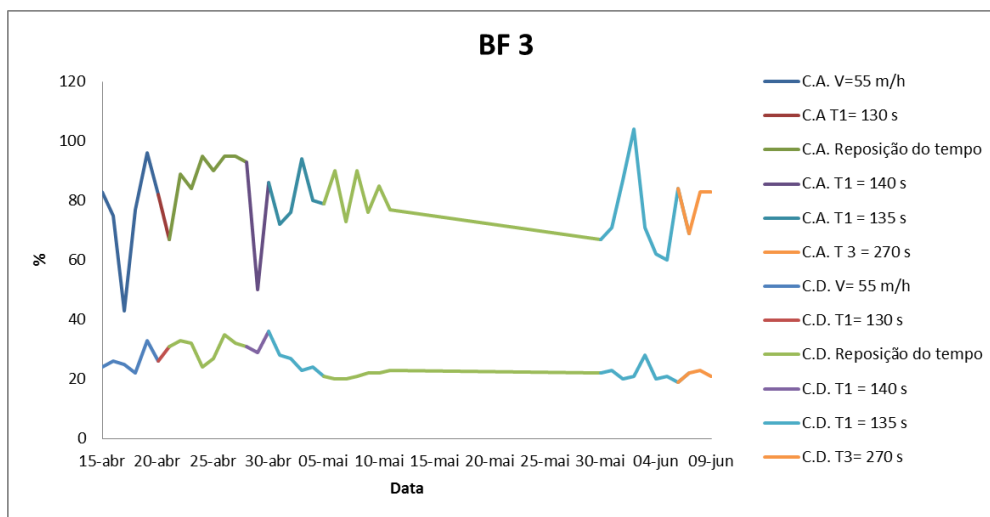


Figura G1.3 – Colmatção antes (em cima) e depois da lavagem (em baixo) durante o período de alterações alterações – biofiltro 3

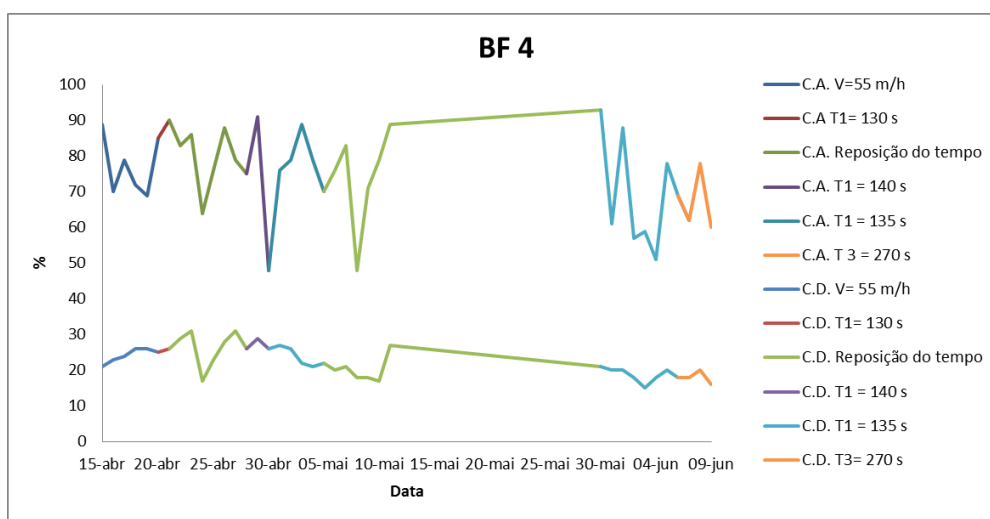


Figura G1.4 – Colmatção antes (em cima) e depois da lavagem (em baixo) durante o período de alterações – biofiltro 4

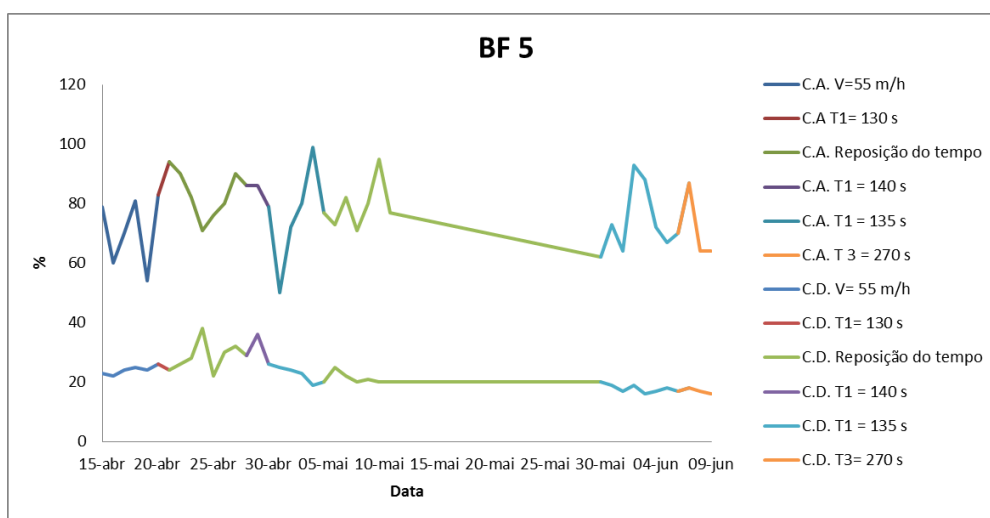


Figura G1.5 – Colmatção antes (em cima) e depois da lavagem (em baixo) durante o período de alterações – biofiltro 5

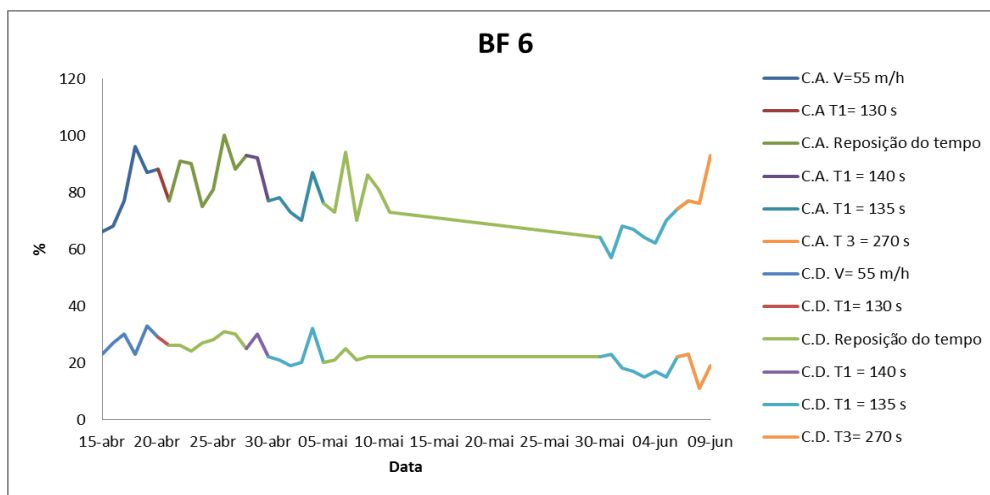


Figura G1.6 – Colmatção antes (em cima) e depois da lavagem (em baixo) durante o período de alterações – biofiltro 6

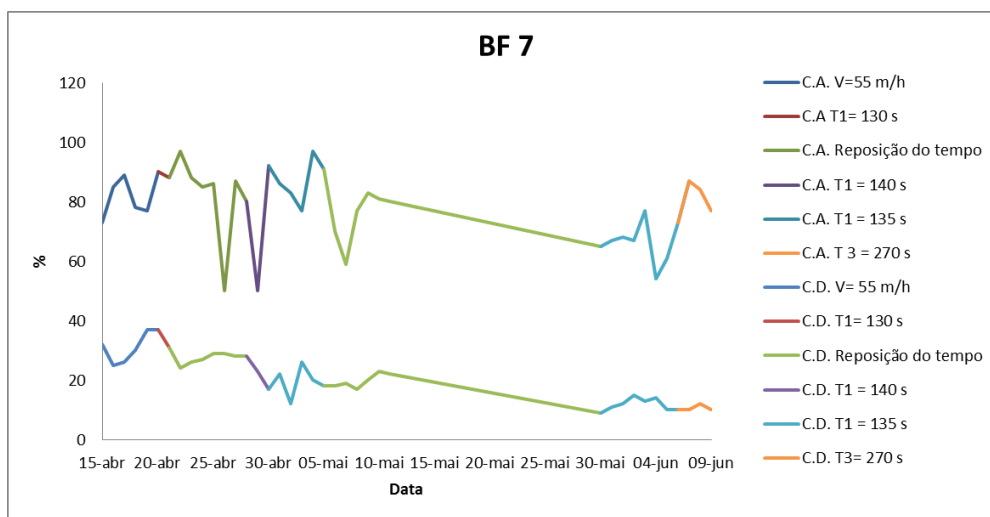


Figura G1.7 – Colmatção antes (em cima) e depois da lavagem (em baixo) durante o período de alterações alterações – biofiltro 7

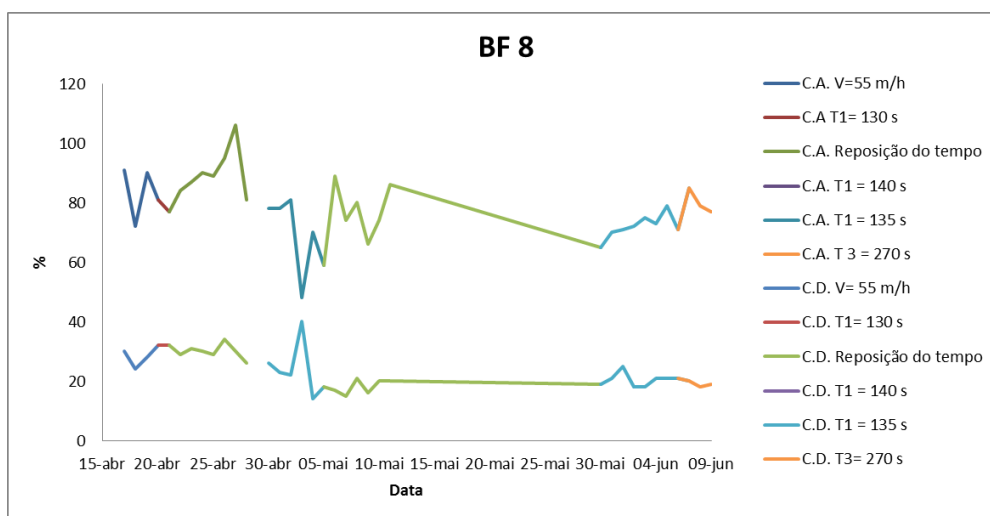


Figura G1.8 – Colmatção antes (em cima) e depois da lavagem (em baixo) durante o período de alterações biofiltro 8

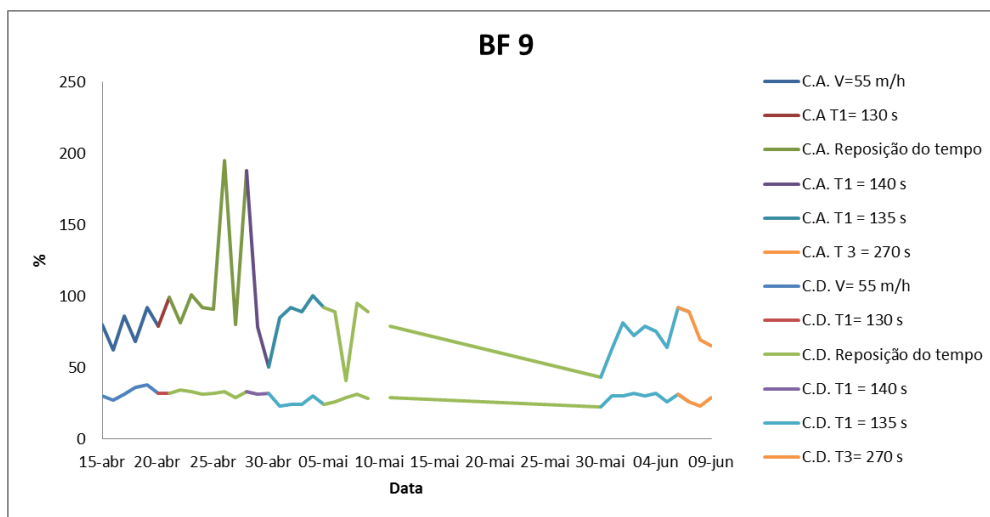


Figura G1.9 – Colmatção antes (em cima) e depois da lavagem (em baixo) durante o período de alterações alterações – biofiltro 9

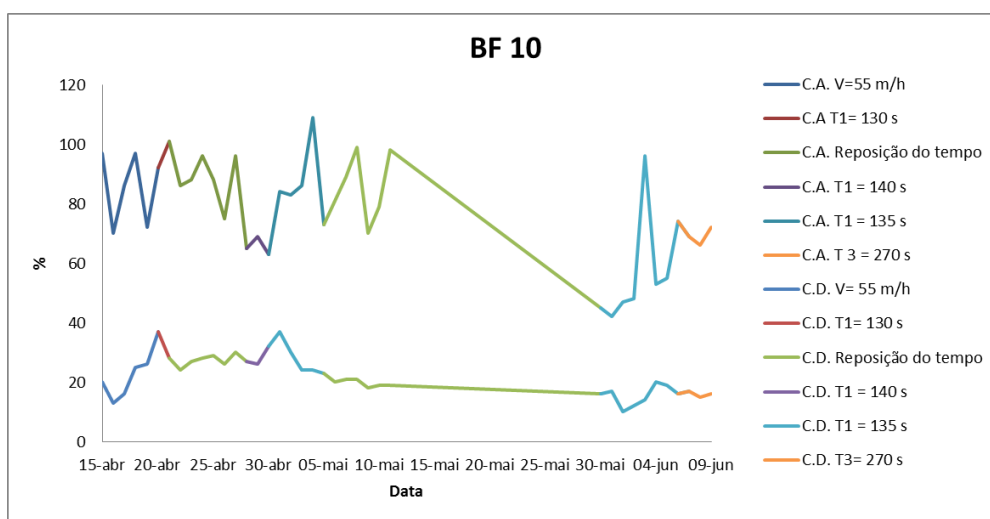


Figura G1.10 – Colmatção antes (em cima) e depois da lavagem (em baixo) durante o período de alterações alterações – biofiltro 10

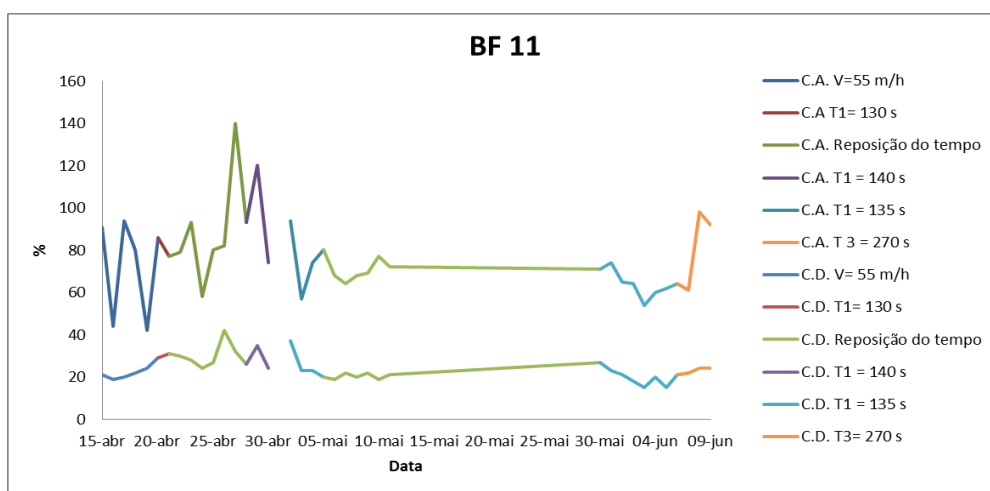


Figura G1.11 – Colmatção antes (em cima) e depois da lavagem (em baixo) durante o período de alterações alterações – biofiltro 11

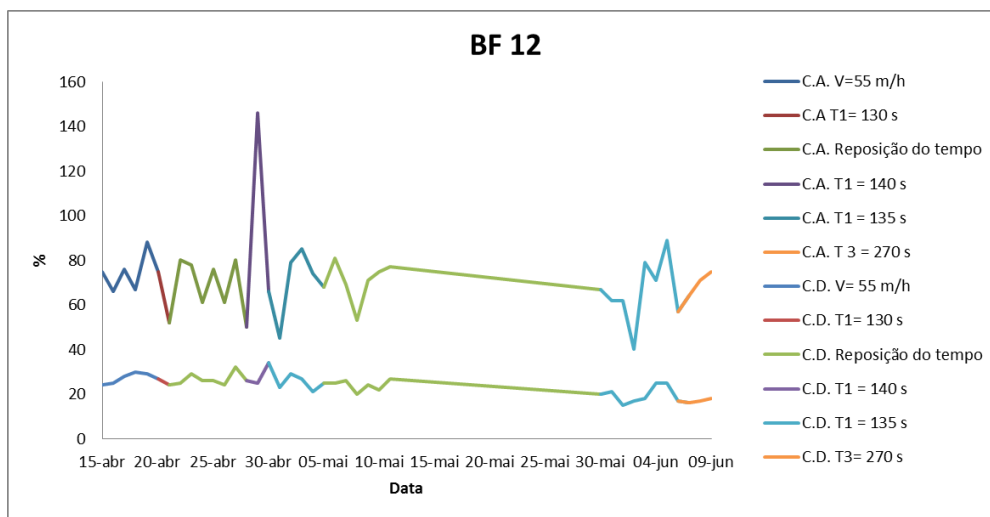


Figura G1.12 – Colmatção antes (em cima) e depois da lavagem (em baixo) durante o período de alterações – biofiltro 12

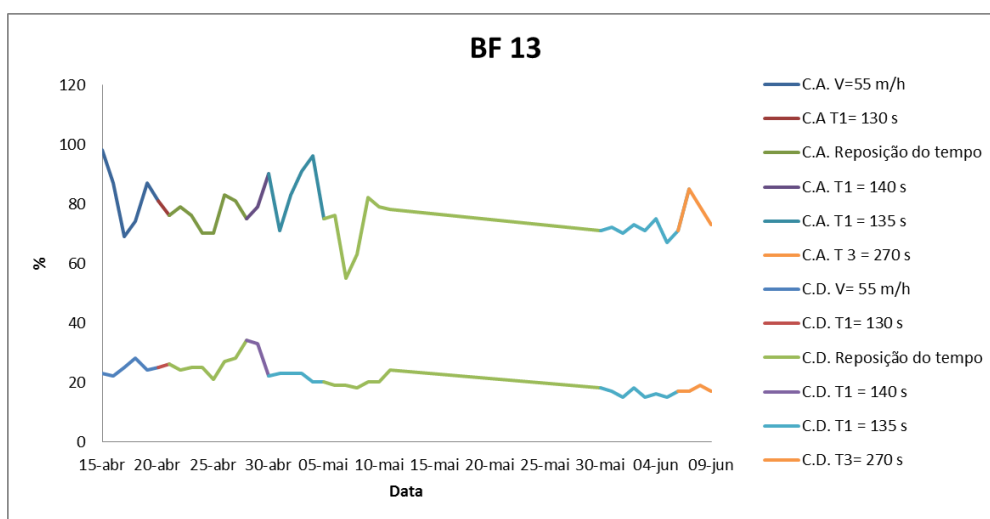


Figura G1.13 – Colmatção antes (em cima) e depois da lavagem (em baixo) durante o período de alterações – biofiltro 13

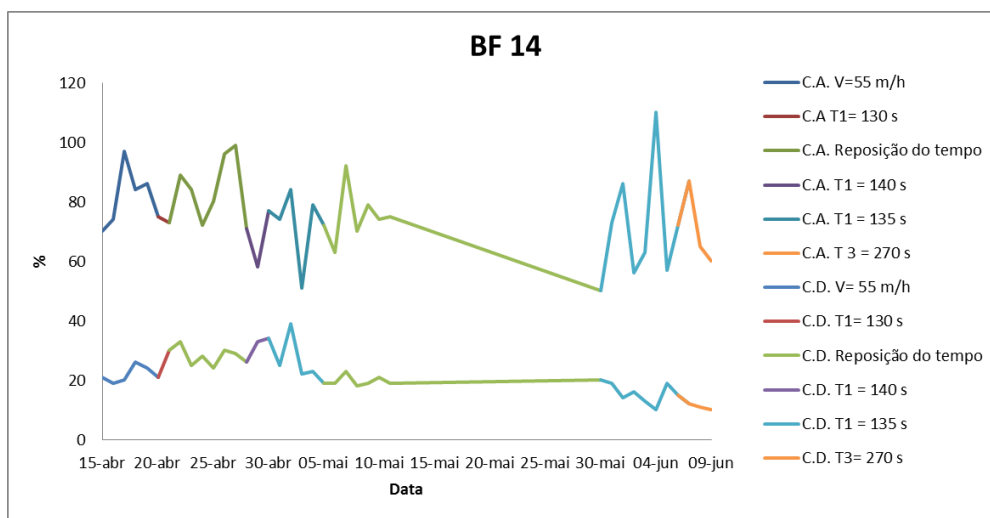


Figura G1.14 – Colmatção antes (em cima) e depois da lavagem (em baixo) durante o período de alterações – biofiltro 14

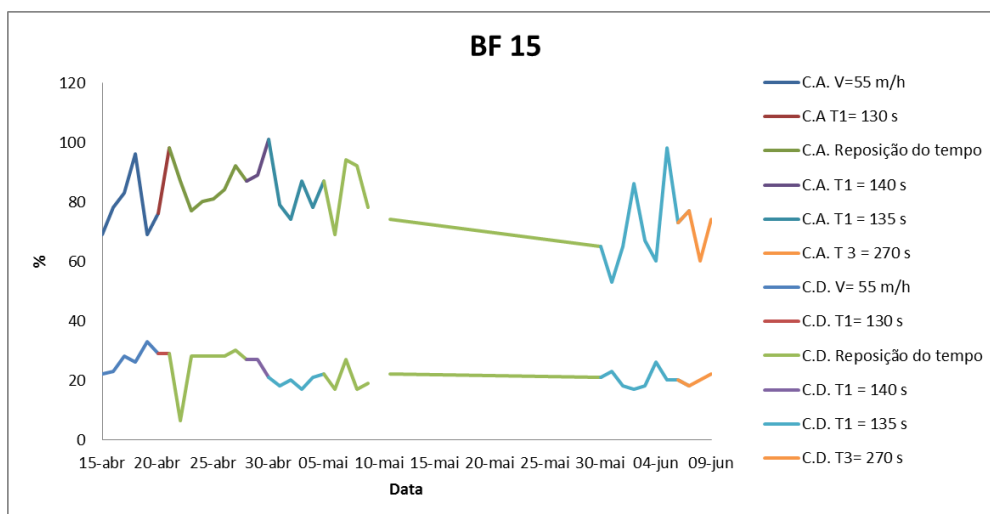


Figura G1.15 – Colmatção antes (em cima) e depois da lavagem (em baixo) durante o período de alterações – biofiltro 15

Anexo G.2 – Variação da expansão antes e após lavagem referente ao período de alterações

Não foram considerados, para a representação gráfica, o período temporal de 11 a 29 de Maio, pois corresponde a um período onde não foram feitas alterações processuais, pelo que como amostra de reposição de tempo, apresentam-se duas fases para comparação de valores. Os valores que apresentam espaço em branco correspondem ao filtro fora de serviço ou ao sistema de Alcântara ter sido reiniciado.

BF 1 – 0% de expansão

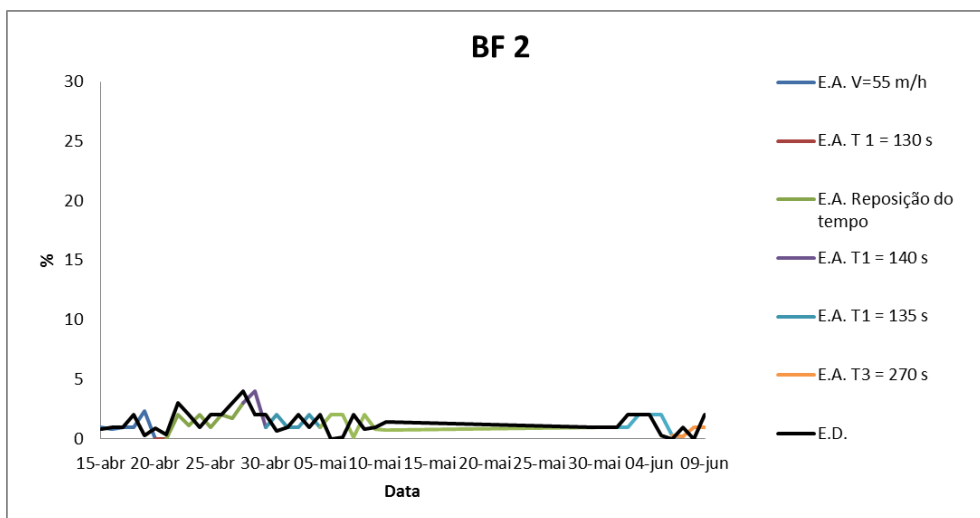


Figura G2.1 – Expansão antes (acima) e depois da lavagem (em baixo) para o período de alterações - biofiltro 2

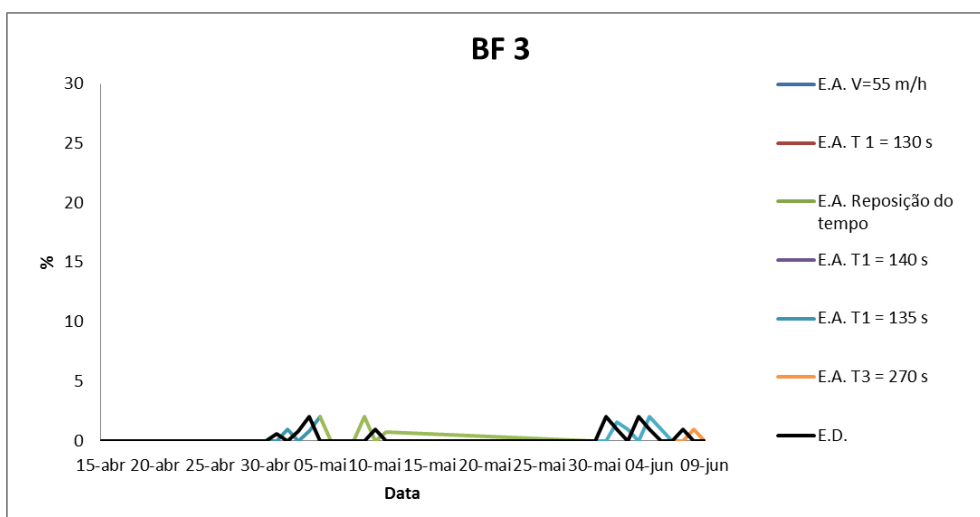


Figura G2.2 – Expansão antes (em cima) e depois da lavagem (em baixo) para o período de alterações - biofiltro 3

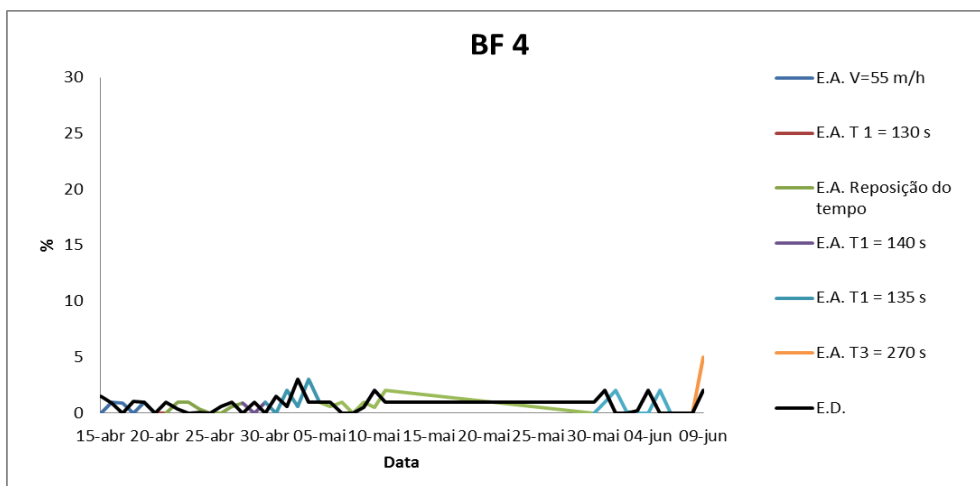


Figura G2.3 – Expansão antes (em cima) e depois da lavagem (em baixo) para o período de alterações - biofiltro 4

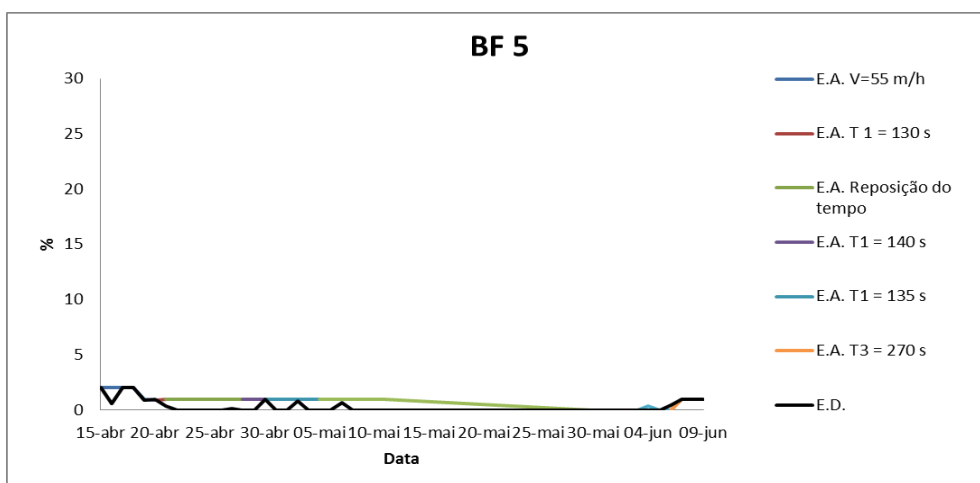


Figura G2.4 – Expansão antes (em cima) e depois da lavagem (em baixo) para o período de alterações - biofiltro 5

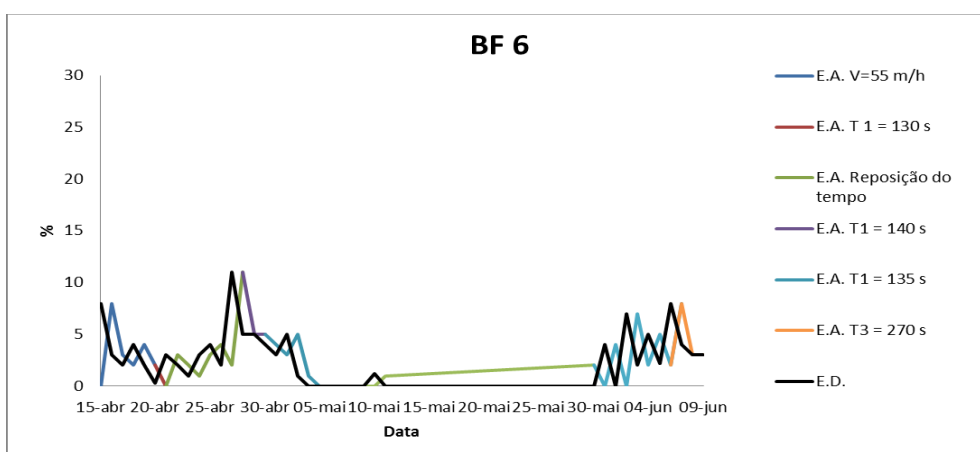


Figura G2.5 – Expansão antes (em cima) e depois da lavagem (em baixo) para o período de alterações - biofiltro 6

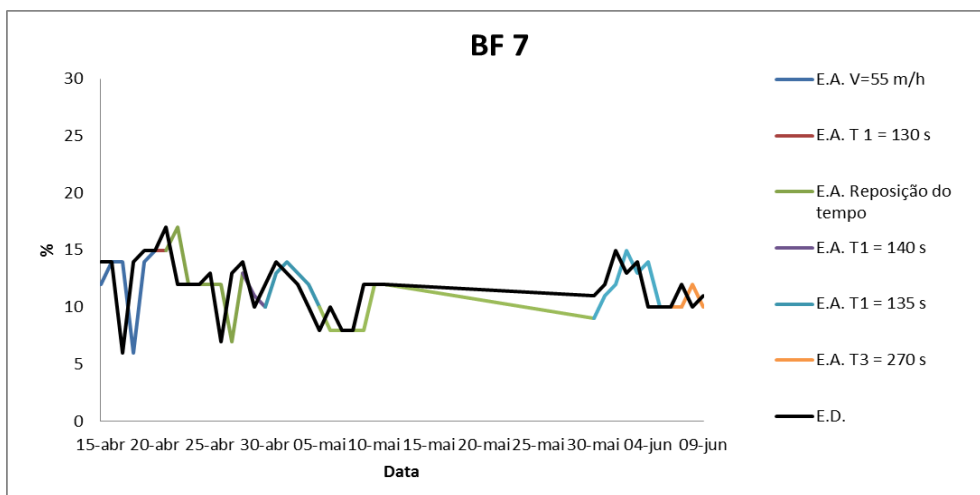


Figura G2.6 – Expansão antes (em cima) e depois da lavagem (em baixo) para o período de alterações - biofiltro 7

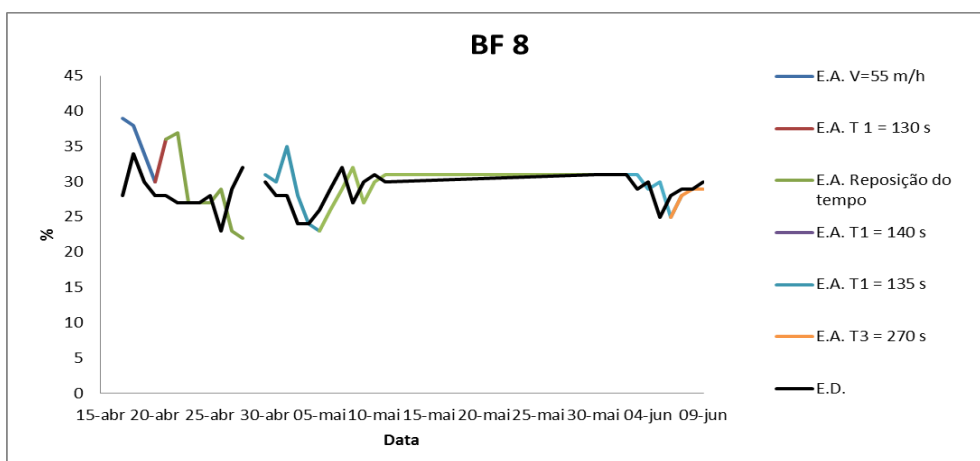


Figura G2.7 – Expansão antes (em cima) e depois da lavagem (em baixo) para o período de alterações - biofiltro 8

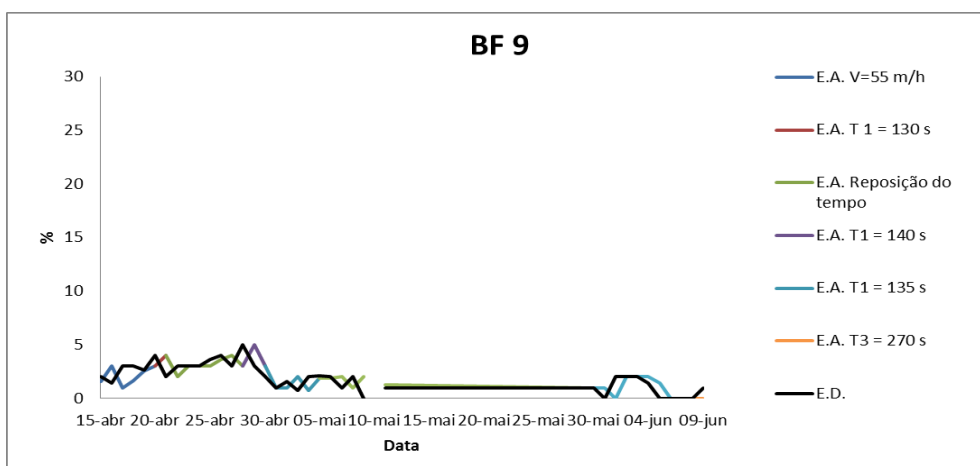


Figura G2.8 – Expansão antes (em cima) e depois da lavagem (em baixo) para o período de alterações - biofiltro 9

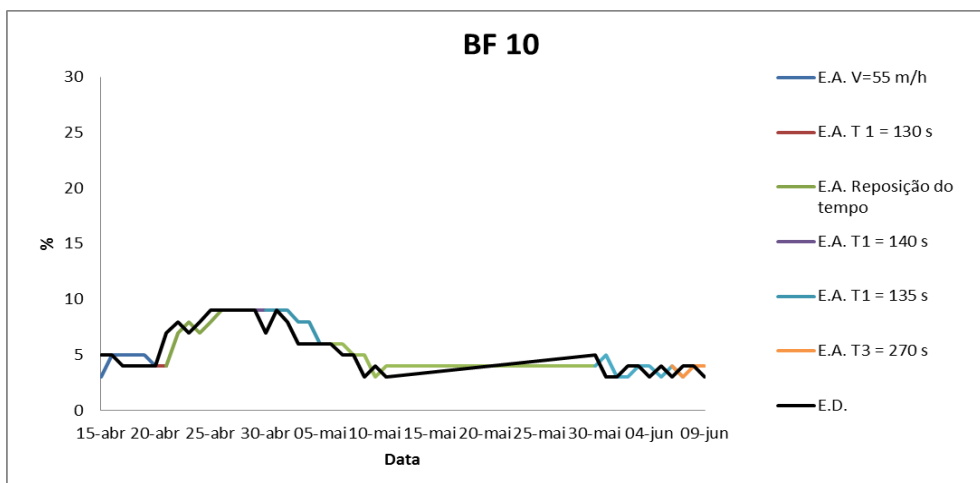


Figura G2.9 – Expansão antes (em cima) e depois da lavagem (em baixo) para o período de alterações - biofiltro 10

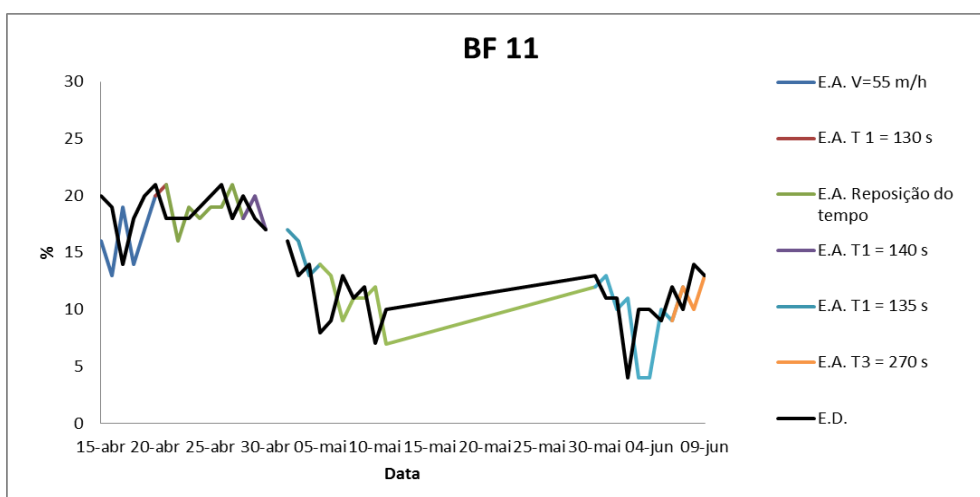


Figura G2.10 – Expansão antes (em cima) e depois da lavagem (em baixo) para o período de alterações - biofiltro 11

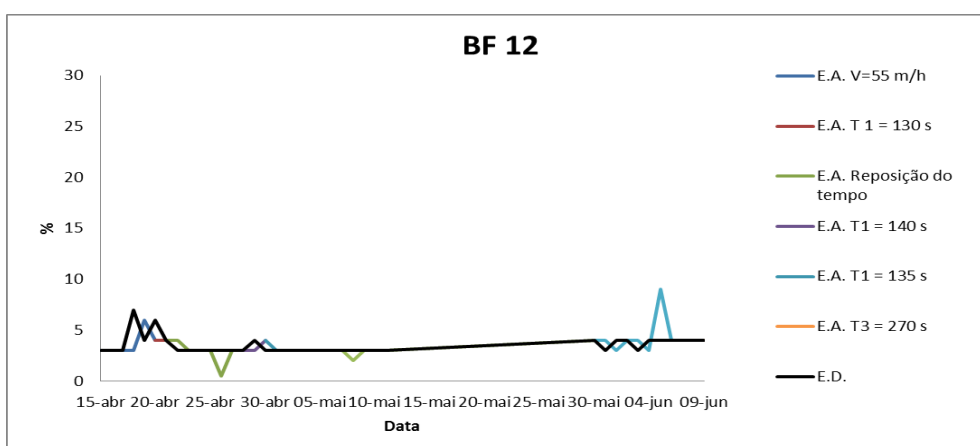


Figura G2.11 – Expansão antes (em cima) e depois da lavagem (em baixo) para o período de alterações - biofiltro 12

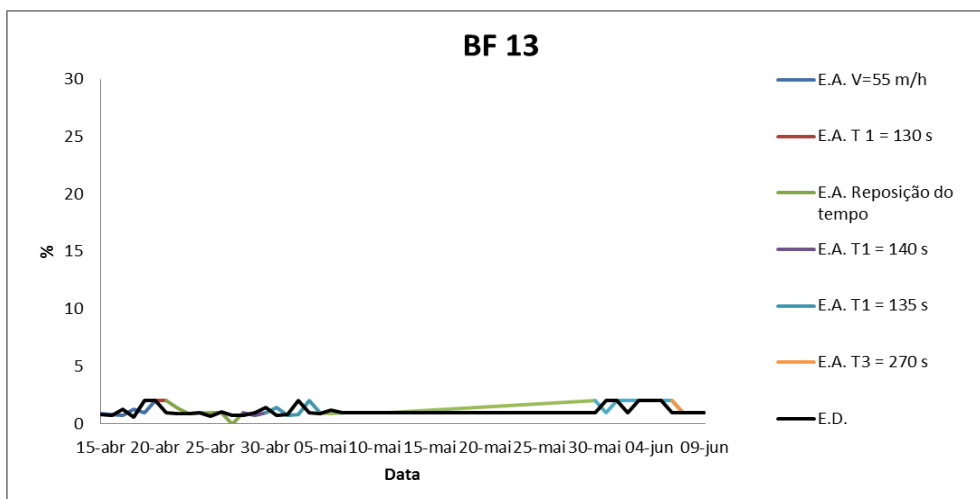


Figura G2.12 – Expansão antes (em cima) e depois da lavagem (em baixo) para o período de alterações - biofiltro 13

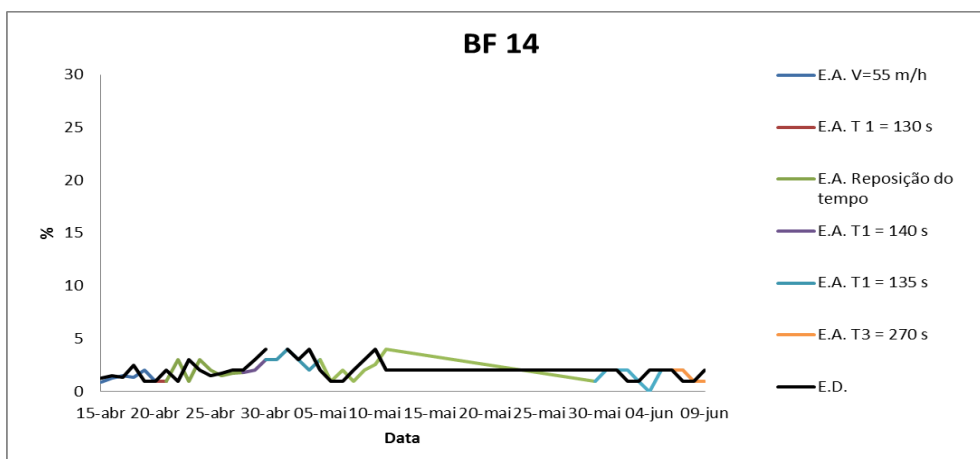


Figura G2.13 – Expansão antes (em cima) e depois da lavagem (em baixo) para o período de alterações - biofiltro 14

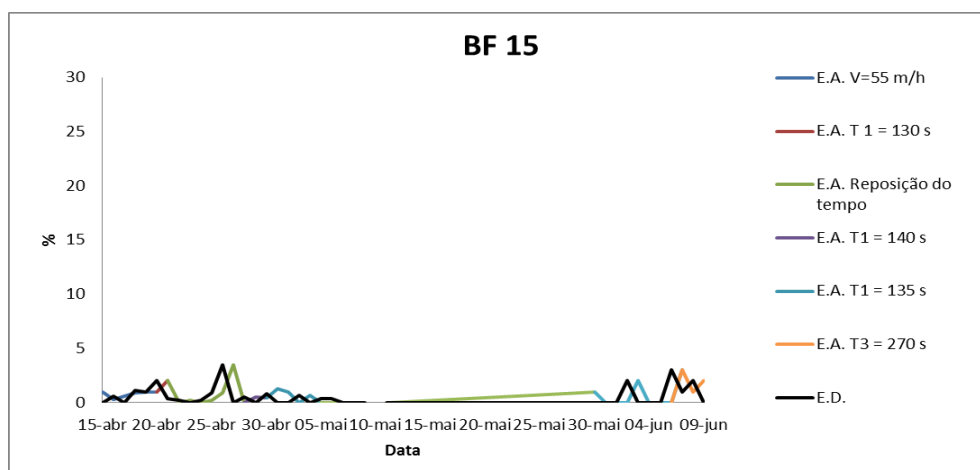


Figura G2.14 – Expansão antes (em cima) e depois da lavagem (em baixo) para o período de alterações - biofiltro 15